

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



Desarrollo de un nuevo proceso para la obtención de lomo curado empleando bolsas permeables al vapor de agua.

TRABAJO FIN DE GRADO EN CIENCIA Y TEGNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS

ALUMNA: Nicole Andrea Baena Noriega

TUTORA: Ana Fuentes López

PRIMER COTUTOR: Raúl Grau Meló

SEGUNDO COTUTOR: José Manuel Barat

Curso Académico 2016/2017

VALENCIA, JUNIO DEL 2017

TÍTULO: Desarrollo de un nuevo proceso para la obtención de lomo curado empleando bolsas permeables al vapor de agua.

RESUMEN

La industria cárnica busca innovar sus procesos productivos con la finalidad de rentabilizar sus actividades, reducir el impacto medioambiental, obtener productos con mejor calidad nutricional e inocuos para los consumidores. Por ello, la mejora de los procesos de salado y curado se centra en incorporar nuevas alternativas para solucionar algunas problemáticas que se presentan actualmente en la industria. Estas alternativas permitirían reducir los tiempos de procesado, minimizar los residuos generados y conseguir productos más homogéneos.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un método alternativo al proceso de curado tradicional empleando bolsas permeables al vapor de agua para obtener lomo curado con unas características físico-químicas, microbiológicas y sensoriales similares a los productos comerciales. Este proceso se realizó empleando un proceso de salado controlado donde se dosificó la cantidad exacta de sal necesaria para que el producto alcanzara una concentración de sal similar a los productos comerciales. Se introdujeron en bolsas permeables al vapor de agua y se depositó una fina capa de sal lo más homogénea posible. Los lomos se envasaron al vacío para facilitar un buen contacto entre el material de envasado y la carne. Durante su procesado, se modificaron las condiciones de HR y temperatura de la cámara hasta llegar finalmente a una HR de 65% y 10°C. Los lomos permanecieron dentro de las bolsas bajo estas condiciones hasta presentar una pérdida de peso del 40%. Al finalizar el proceso, los lomos se analizaron para determinar sus parámetros físico-químicos (humedad, sal, a_w , pH, nitrógeno proteico (NP) y Nitrógeno no proteico (NNP)), textura, color, parámetros microbiológicos (mesófilos, bacterias ácido lácticas y enterobacterias), así como una evaluación sensorial.

La optimización de las condiciones de procesado en el salado-curado controlado empleando bolsas permeables al vapor de agua para la obtención de lomo curado y la dosificación exacta de la sal han sido adecuadas para obtener un producto con valores de humedad, sal y a_w similares a los determinados en los productos comerciales. Estas condiciones han permitido obtener un producto con una calidad higiénica adecuada y un perfil sensorial similar al producto tradicional. Este nuevo proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua presenta ventajas respecto a la menor manipulación del producto, la reducción de los residuos generados y al mejor control que supone el salado controlado que posiciona esta nueva técnica como una alternativa a los procesos de salado y curado tradicionales para mejorar la calidad higiénica de los productos y reducir el impacto medioambiental de este sector alimentario.

PALABRAS CLAVE: Productos cárnicos, lomo curado, salado-curado, bolsas permeables al vapor de agua.

TITLE: Development of a new process for obtaining cured loin

ABSTRACT

The meat industry searches to innovate its production processes with the aim of making its activities profitable, reducing the environmental impact, obtaining products with better nutritional quality and safe for consumers. Therefore, the improvement of the salting and curing processes is focused on incorporating new alternatives to solve some problems that are actually present in the industry. These alternatives would reduce processing times, minimize waste generated and achieve more homogeneous products.

The aim of the present study is to develop an alternative method to the traditional curing process using water vapor permeable bags to obtain cured loin with physico-chemical, microbiological and sensorial characteristics similar to commercial products. This process was carried out using a controlled salting process where the exact amount of salt necessary for the product to reach a salt concentration similar to commercial products was dosed. They were placed in bags permeable to water vapor and deposited a thin layer of salt as homogeneous as possible. The loins were vacuum packed to facilitate good contact between the packaging material and the meat. During its processing, the HR and temperature conditions of the chamber were modified until finally it reached a RH of 65% and 10 ° C. The loins remained inside the bags under these conditions until a weight loss of 40%. At the end of the process, the loins were analyzed to determine their physico-chemical parameters (humidity, salt, aw, pH, protein nitrogen and NNP), texture, color, microbiological parameters (mesophiles, acid bacteria Lactic and enterobacteria), as well as a sensorial evaluation.

Optimization of the controlled salt-curing processing conditions using water vapor permeable bags to obtain cured loin and exact salt dosage have been adequate to obtain a product with moisture, salt and aw values similar to those determined in commercial products. These conditions have allowed to obtain a product with an adequate hygienic quality and a sensorial profile similar to the traditional product. This new salting-curing process employing water-permeable bags presents advantages with respect to the less manipulation of the product, the reduction of the waste generated and the better control that the controlled salting that positions this new technique as an alternative to the processes of salting and curing traditional to improve the hygienic quality of the products and to reduce the environmental impact of this alimentary sector.

KEY WORDS: Meat products, cured loin, salted-cured process, bags permeable to water vapor.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES DE LA CARNE Y SU CONSUMO	1
1.2. PRODUCTOS CÁRNICOS CURADOS	2
1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL LOMO CURADO.....	4
1.4. ALTERNATIVAS AL PROCESO TRADICIONAL DE ELABORACIÓN	8
2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO	10
2.1. OBJETIVO	10
2.2. PLAN DE TRABAJO	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. MATERIALES.....	11
3.2. MATERIA PRIMA.....	12
3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	12
3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	13
3.4.1. Humedad	13
3.4.2. Grasa	14
3.4.3. pH	14
3.4.4. Contenido en cloruros.....	15
3.4.5. Actividad de agua (a_w)	15
3.4.6. Determinación de proteínas	15
3.4.7. Determinación del contenido de nitrógeno no proteico (NNP).....	16
3.5. COLOR	17
3.6. PROPIEDADES MECÁNICAS: Análisis de doble compresión o TPA	17
3.7. DETERMINACIONES MICROBIOLÓGICAS	18
3.7.1. Aerobios mesófilos.....	18
3.7.2. Enterobacterias	18
3.7.3. Recuento de bacterias ácido lácticas	18
3.8. EVALUACIÓN SENSORIAL	18
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	19

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	20
4.2. PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL PROCESO DE SALADO-CURADO EMPLEANDO BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA.....	22
4.3. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS LOMOS OBTENIDOS POR EL NUEVO PROCEDIMIENTO DE SALADO-CURADO EMPLEANDO BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA.....	24
4.4. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DE LOS LOMOS OBTENIDOS POR EL NUEVO PROCEDIMIENTO DE SALADO-CURADO EMPLEANDO BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA.....	33
4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL	34
5. CONCLUSIONES.....	36
6. BIBLIOGRAFÍA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de lomo curado adaptado de (Soriano, 2017)	7
Figura 4.1. Tiempo de procesado (días) y variación de peso (ΔM_0) de los diferentes lomos durante el proceso de curado empleando bolsas permeables al vapor de agua.	23
Figura 4.2. Valores de humedad en las zonas “centro” y “bordes” de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3). Las líneas horizontales punteadas indican el rango de valores entre los que se encuentran los productos comerciales analizados.	24
Figura 4.3. Valores concentración de sal (g NaCl/100 g producto) de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3). Las líneas horizontales punteadas indican el rango de valores entre los que se encuentran los productos comerciales analizados.	26
Figura 4.4. Valores de actividad de agua (a_w) de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3). Las líneas horizontales punteadas indican el rango de valores entre los que se encuentran los productos comerciales analizados.	26
Figura 4.5. Valores de pH de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3)	28
Figura 4.6. Valores de los parámetros de dureza, elasticidad, masticabilidad y cohesividad de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3)	29
Figura 4.7. Coordenadas de color L*: luminosidad, a*: rojo-verde y b*: amarillo-azul de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3) .	30
Figura 4.8. Valores de nitrógeno no proteico (mg/100g de lomo) y nitrógeno proteico (g/100g de lomo) de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3)	32
Figura 4.9. Puntuaciones asignadas por los catadores en la evaluación sensorial de las muestras de lomo curado (control, nuevo proceso).....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Valores de humedad, grasa, a_w y pH obtenidos en la caracterización del lomo fresco empleado como materia prima (n=3).....	20
Tabla 4.2. Valores de humedad, sal y a_w para diferentes marcas comerciales de lomo curado (media \pm sd, n=3).....	22
Tabla 4.3. Valores del índice de proteólisis de las muestras de lomo obtenidas por el nuevo proceso.....	32
Tabla 4.4. Recuentos de aerobios mesófilos, bacterias ácido-lácticas y enterobacterias (log UFC/g) en las muestras de lomo curado	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES DE LA CARNE Y SU CONSUMO

La carne es un alimento de alto valor nutricional, ya que aporta una gran cantidad de nutrientes a nuestro organismo. La carne posee entre un 20-25% de proteína de alto valor biológico ya que alrededor de un 40% de sus aminoácidos son esenciales, es decir, se trata de aminoácidos que el organismo no puede sintetizar y deben ser incorporados a través de la dieta. Contiene además vitaminas hidrosolubles del grupo B, como la vitamina B2, B3, B6 y B12 (Valero, et al., 2006-2017). Las vitaminas B2 y B6 son necesarias para la liberación de energía de los carbohidratos, proteínas y grasas, y también para la formación de glóbulos rojos y anticuerpos. La vitamina B3 es esencial para la producción de energía en sistemas enzimáticos intracelulares. Otra vitamina importante en la carne es la B12, que se caracteriza por facilitar la absorción del hierro y se encuentra exclusivamente en productos de origen animal (Carvajal, 2001). Cabe destacar que la carne es también una excelente fuente natural de hierro y zinc de alta biodisponibilidad. Esto permite que participe en la formación de la hemoglobina y la presencia de esta en una ingesta del día puede aumentar la absorción del hierro presente en otros alimentos como cereales o legumbres. Otros minerales en cantidades significativas son el magnesio y el fósforo. En cuanto al contenido en grasa, es muy variable dependiendo de la raza, sexo, alimentación o edad del animal (Valero, et al., 2006-2017). La mitad de su contenido son grasas y ácidos grasos saturados. Debido a esto se recomienda el consumo de partes más magras (Dapcich, et al., 2015). Por último, cabe destacar también la importancia que tiene en particular la carne de cerdo (sobre todo el lomo). Esta carne contiene: un 27% de proteína, 14% de grasa y un 55% de agua. Es una buena fuente de tiamina, y en cuanto a minerales; potasio, fósforo y magnesio (Anses/Ciqual, 2016).

Respecto a la producción mundial de carne, según las estimaciones de la FAO, esta se habrá duplicado para el año 2050 y se prevé que la mayor parte del crecimiento se concentrará en los países en desarrollo (FAO, 2016). Así pues, la Proyección OCDE-FAO sobre el mercado de carnes para el periodo 2014-2023 indica que este aumento de la producción corresponde a los países en desarrollo de Asia, América Latina, el Caribe, América del Norte y África que son los que más contribuyen a dicho aumento. En general, China sigue siendo el mayor contribuyente, seguida de EEUU y Brasil (Boari, et al., 2014).

Según datos aportados por la FAO, mientras que el consumo de carne por habitante es alto en algunos países industrializados, en los países en desarrollo un consumo per cápita de carne

inferior a 10 kg debe considerarse insuficiente y con frecuencia causa malnutrición y subnutrición. Según la proyección OCDE-FAO, el aumento demográfico constante, el incremento de los ingresos y las preferencias de los consumidores impulsan el sector de la carne a través del tiempo y también conducen a una mayor demanda de la misma. Este consumo sigue siendo más fuerte en los países en desarrollo que representarán el 83% del aumento de la carne consumida en 2023 mientras que el consumo de las economías desarrolladas seguirá un crecimiento lento (Boari, et al., 2014).

Por otro lado, según los últimos datos aportados por el informe de consumo de alimentación en España durante 2015, el consumo medio aproximado por persona y año de carne fue de 50,14 kg. De esta cantidad el 74% se corresponde con carne fresca, con una ingesta media de 37,13 kg, le sigue la carne transformada con un 23,4% sobre el total, con una ingesta media de 11,74 kg por persona y año. En general descendió el consumo per cápita en todos los tipos de carne. En relación a la carne de cerdo, su consumo en fresco se incrementó ligeramente, en cambio en su forma transformada productos tales como el jamón curado y lomo embuchado constituyeron un consumo per cápita de 2,06 y 0,23 kg/persona/año, respectivamente (MAPAMA, 2016).

1.2. PRODUCTOS CÁRNICOS CURADOS

Los productos cárnicos son productos muy interesantes por su sabor, color y textura particulares. Durante el proceso de secado-curado las enzimas musculares endógenas son bastante activas y muy importantes para el desarrollo de un intenso sabor. Así pues, el secado es la característica básica de estos productos porque su finalidad es producir la deshidratación e intensificar los procesos bioquímicos de lipólisis y proteólisis que conferirán a estos productos sus características particulares (Toldrá, 2016).

Uno de los productos cárnicos de gran consumo es el **lomo curado** (Toldrá, 2016). Este producto se define como un “producto elaborado con el paquete muscular formado por los músculos espinal y semiespinal del tórax, así como los músculos longísimos, lumbar y torácico del cerdo, prácticamente libre de grasa externa, aponeurosis y tendones, adobado y embutido en tripas naturales o envolturas artificiales, el cual ha sufrido un adecuado proceso de curado-maduración” (BOE, 2014). El lomo se encuentra dentro de la categoría de **derivados cárnicos** no tratados por el calor. Se trata de productos elaborados con carne y grasa, que durante su fabricación no han sido sometidos a ningún proceso tecnológico térmico para adquirir las características organolépticas propias (BOE, 2014).

El proceso de curado del lomo consiste en tratar la carne añadiendo de forma intencionada cloruro de sodio (sal), sales nitrificantes (nitratos y nitritos), y otros aditivos como ascorbatos o eritorbatos, azúcares, fosfatos y especias. Mediante este procedimiento se consigue prolongar la vida útil del producto a temperatura ambiente y aportarle el color, el sabor y la textura característicos de los productos cárnicos curados. Todos estos ingredientes, en su conjunto, desempeñan un papel muy importante en las características del producto final (Shahidi et al., 2014).

El cloruro sódico (sal) actúa como agente bacteriostático. Es capaz de ionizarse completamente en soluciones acuosas en los iones Na^+ y Cl^- , los cuales son capaces de atraer hacia sí las moléculas de agua haciendo que no estén disponibles para los microorganismos, de esta forma, se consigue un descenso significativo de la actividad de agua (a_w) del producto, la deshidratación del mismo y permite inhibir el crecimiento microbiano. La sal contribuye también al característico sabor salado debido a la estimulación de las papilas gustativas. Esto ocurre cuando los complejos que forma la sal con las proteínas son destruidos por el calentamiento, lo cual incrementa la sensación de salado (Armenteros, 2010).

La presencia de sal tiene un importante efecto sobre la estructura proteica del producto. Cabe destacar que las proteínas solubles del músculo, tanto las sacoplásmicas como las miofibrilares, sufren cambios en presencia de la sal, siendo las proteínas miofibrilares las más afectadas. La presencia de cloruro sódico en el medio y las temperaturas relativamente altas que se producen en determinadas etapas del proceso ocasionan cambios estructurales en las proteínas debido a la interacción de éstas con los iones de la sal. Una vez solubilizadas, pueden sufrir procesos de desnaturalización parcial y reorganizarse para formar un gel proteico (constituido por grasa, carne y agua) que va a permitir mejorar la ligazón del músculo, su jugosidad y terniza. Por último, también permite aumentar la capacidad de retención de agua de las proteínas. Esto se debe a que los iones Cl^- , son capaces de unirse a los grupos cargados positivamente en las proteínas provocando una disminución de su punto isoeléctrico. Como consecuencia, aumenta el número neto de cargas negativas en las proteínas y, por fenómenos de repulsión se produce un aumento del espacio entre las mismas (Armenteros, 2010).

Los nitratos y nitritos son los agentes de curado más utilizados en este tipo de productos. Así pues, la adición de nitrito, junto con el cloruro sódico, inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos como *Clostridium botulinum* y *Salmonella spp.*, por lo que ejerce también como agente bacteriostático (Shahidi et al., 2014). Las sales nitrificadas, proporcionan estabilidad oxidativa a la carne ya que previene la oxidación de lípidos, contribuyen al aroma y son

responsables del color rojo característico del producto final. En los derivados cárnicos curados, su color se debe a la reacción del óxido nítrico, el cual deriva del nitrito, con la mioglobina formando nitrosomioglobina, pigmento que proporciona dicho color rojizo (Sánchez-Molinero, 2003), (Shahidi et al., 2014; Toldrá, 2016).

Como se ha mencionado anteriormente, a la mezcla de curado se puede adicionar también ciertos aditivos como los ascorbatos o azúcares entre otros. Los ascorbatos ayudan a mejorar y mantener el color rojizo. La presencia de ascorbatos favorece la formación de mioglobina y también acelera la transformación del nitrito a óxido nítrico evitando, de esta manera, la formación de nitrosaminas (compuestos carcinógenos que se forman por la reacción del nitrito con aminoácidos libres y aminos). Los azúcares como sacarosa, glucosa o lactosa entre otros, proporcionan un ligero sabor dulce y moderan la aspereza de la sal en algunos productos. Estos azúcares también estabilizan el color, reducen los precipitados de fosfatos en la superficie y, además cuando los nitratos son utilizados como agentes de curado, favorecen el crecimiento de los microorganismos que reducen el nitrato a nitrito (Shahidi et al., 2014).

Otro ingrediente a destacar es el uso de fosfatos alcalinos que incrementan el pH de la carne y contribuyen a la solubilización de las proteínas del músculo a fin de proporcionar la capacidad de retener agua. Mejoran el sabor de la carne curada debido a la retención natural de jugos y por la reducción de la rancidez oxidativa. Por último, los condimentos se emplean para lograr en el producto una apariencia y sabores únicos. Además de sus propiedades aromatizantes, algunas especias y hierbas tienen también una función antioxidante debido a que reducen la tasa de rancidez oxidativa (Shahidi et al., 2014).

1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL LOMO CURADO

Los productos cárnicos curados, entre ellos el lomo y el jamón curado tienen una larga tradición en la gastronomía española. Estos productos se procesan conforme a métodos tradicionales de elaboración, aunque en los últimos años han sido incorporadas nuevas tecnologías a este proceso (Armenteros, 2010).

En general, el proceso de elaboración de lomo curado está estructurado en una serie de etapas, donde las condiciones y tiempo de duración pueden ser variables en función de las características de la materia prima y las características que se buscan en el producto final (figura 1.1).

El proceso de elaboración del lomo empieza con la recepción de la materia prima y la posterior eliminación de la grasa subcutánea. Una vez preparada la pieza, se procede al salado (Picó, 2015; Soriano, 2017).

Existen diferentes procedimientos de salado. En el proceso tradicional, los lomos se cubren o frotan con sal sólida que incorpora también las sales de curado. Sin embargo, a escala industrial se emplean diferentes procedimientos, el proceso de salado se realiza frotando las piezas con las sales de curado mediante masaje en un bombo durante 20 minutos. Posteriormente, estas piezas se apilan en contenedores rodeados de sal común y se mantienen en refrigeración durante 2 días a 4°C para estabilizar el producto. Hay que añadir que, las condiciones de temperatura y humedad de las salas destinadas a este fin deben ser las adecuadas para evitar la proliferación de microorganismos alterantes, así como evitar una desecación externa que impediría la penetración de la sal hacia el interior del lomo. Es por ello que esta etapa se realiza siempre a bajas temperaturas y a una humedad relativa alta, superior al 75% (Sánchez-Molinero, 2003).

Finalizada la etapa de salado, los lomos se adoban con una mezcla de especias, aditivos y azúcar, mediante masaje en bombo durante 20 minutos. Tras finalizar el proceso se colocan de nuevo en los contenedores. Durante esta etapa las piezas de carne sufren variaciones en su composición en cuanto a actividad de agua. Posteriormente, se elimina con agua la sal adherida a la superficie. Cuando las piezas se han escurrido, se llevan a una cámara donde se maceran durante 4-8 días a 4°C. Así pues, durante este periodo de tiempo permanecen en reposo para que la sal que ha penetrado pueda difundirse mejor por el interior de la pieza.

Finalizada la maceración, los lomos se embuten en tripas naturales o artificiales. Es necesario controlar las condiciones de secado y que se adecuen a las características del material de embutido. Si se desea que la pieza alcance antes la curación se aplica un estufaje, si no, se mantiene con una HR de 90-95% y una temperatura de 10°C para reducir posteriormente la humedad. Por último, la etapa de curación se realiza a una temperatura de 10-12°C y 75-80% de HR durante 25-45 días según el tipo de tripa y el tamaño de la pieza (Armenteros, 2010).

A continuación, se indican algunas ventajas y desventajas que presenta el proceso de elaboración del lomo curado descrito anteriormente.

La aplicación de esta metodología presenta las siguientes ventajas:

- 1) En la etapa de salado, la incorporación de una nueva tecnología, como el uso del masaje en bombo permite una mejor distribución de la sal por toda la pieza, se controla la cantidad que se adiciona de la misma y se ahorra mano de obra. Cabe destacar que, en la etapa de adobo este masaje también permite un reparto más homogéneo de la mezcla constituida por especias, aditivos y azúcar (Armenteros, 2010).
- 2) El uso de humedades relativas altas entre 70-80% durante el proceso permite un buen secado, inhibe el crecimiento de la flora externa, evita la cristalización de la sal en la superficie y favorece su difusión hacia el interior del producto (Ruíz, 2005).
- 3) La utilización de bajas temperaturas y un proceso de curado lento favorecen la elaboración de un lomo con calidades organolépticas excepcionales (Armenteros, 2010).
- 4) El uso de contenedores o cubetas permite manipular un mayor número de piezas (Armenteros, 2010).

Las desventajas que presenta son las siguientes:

- 1) El tiempo de descongelación y el necesario para que la sal penetre en el interior de la pieza es mayor al utilizar la metodología de salado tradicional (Armenteros, 2010). En cambio, con una alternativa a esta, como la inmersión en salmuera, en la cual no hace falta descongelar previamente los lomos, se conseguirían tiempos más cortos en esta etapa (Arnau et al., 2007; Barat et al., 2006).
- 2) En la etapa de salado, por la metodología tradicional (cubrir o frotar toda la pieza con sal), al ser por vía seca se produce mayor deshidratación osmótica, mayor consumo de sal, aunque esté controlada y se generan salmueras (Armenteros, 2010).
- 3) La etapa de secado es más lenta y se puede producir una proliferación de mohos y ácaros debido a una humedad relativa alta durante el resto del proceso (Arnau et al., 2007). Para combatir este problema, se puede reducir la HR, aislar los secaderos o aplicar medidas de limpieza. También se puede regular la temperatura y humedad relativa. Lo ideal sería que a 20°C, la humedad oscile entre 55-60% para eliminar formas móviles de ácaros, e inferior a 55% durante más de 2 semanas, de esta forma, se eliminan todos los estadios de crecimiento (Sánchez-Molinero, 2003).

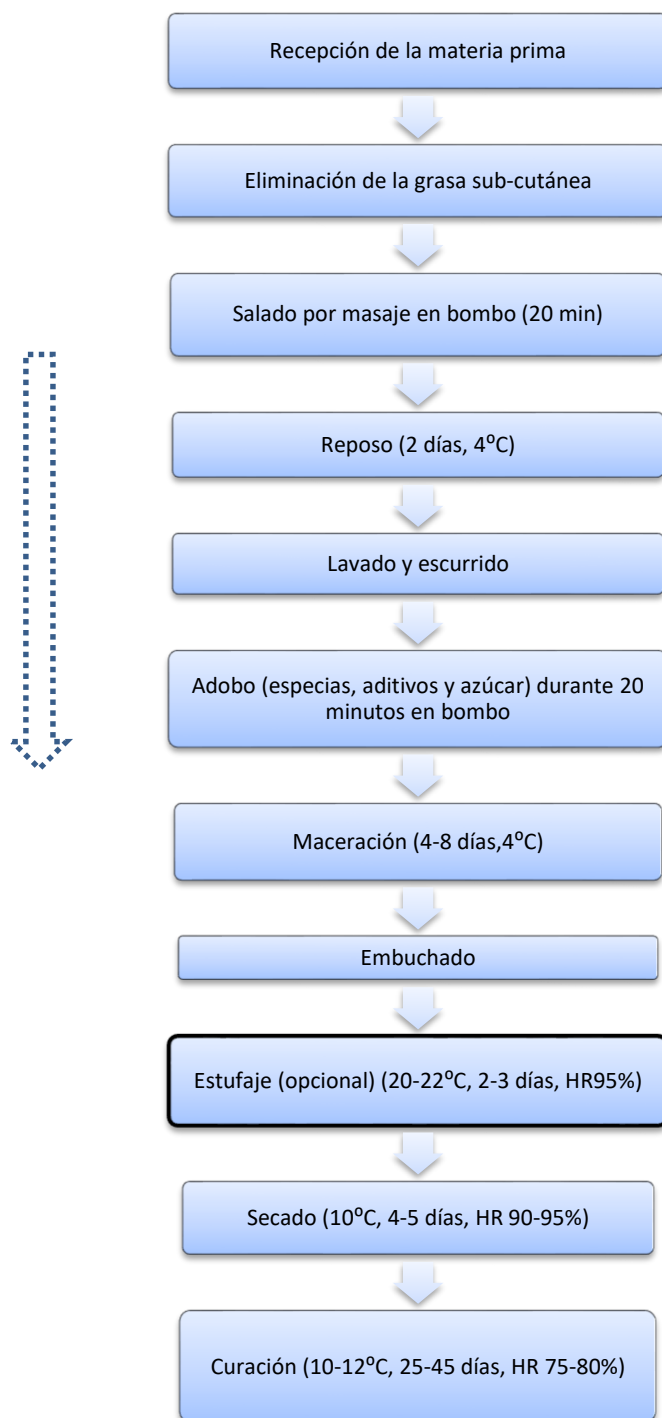


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de lomo curado adaptado de (Soriano, 2017).

1.4. ALTERNATIVAS AL PROCESO TRADICIONAL DE ELABORACIÓN

Para obtener un producto de calidad, además de seleccionar la materia prima adecuada, es importante la optimización de las diferentes etapas del proceso. Así pues, interesa reducir los tiempos de procesado sin afectar a las características sensoriales y sanitarias del producto y, también hacer frente a algunas problemáticas que se presentan en la elaboración del lomo curado como son: el uso excesivo de sal y conseguir un reparto más homogéneo de la misma, generación de salmueras procedentes del exudado, proliferación de mohos y ácaros y formación del encostrado entre otros. Existen varias alternativas variando las etapas y los parámetros de tiempo, humedad y temperatura.

Entre los procedimientos de salado se pueden distinguir; el salado en seco, en el que una de sus metodologías permite aplicar una cantidad controlada de sal mediante masaje, pero presenta el inconveniente de que su duración es más prolongada ya que hay que esperar a que toda la sal sea absorbida; otra forma es el salado por vía húmeda que puede hacerse por inyección de salmuera en el interior del producto o por inmersión en la misma. Esta última, tiene la ventaja de que no hace falta descongelar los lomos antes de introducirlos en la salmuera con lo que se reducen los tiempos de descongelación y penetración de la sal, sin embargo, como se produce poca deshidratación osmótica el tiempo de secado se alarga (Armenteros, 2010; Barat et al., 2006). También se puede acelerar la penetración de sal empleando ultrasonidos, el vacío, masaje mediante el uso de bombos o masajeadores, y la alternancia de sobrepresión y vacío (Armenteros, 2010; Garcia-Gil et al., 2012).

Por otro lado, hay que destacar que los procesos tradicionales requieren mucho y, en particular el secado se considera la etapa que limita el proceso en términos de tiempo. Así pues, un acortamiento del periodo de secado permitiría una reducción de las instalaciones de secado, capital y mano de obra, así como aumentar el margen de beneficio y la competitividad del producto. También se podrían solucionar algunos problemas relacionados con la calidad y seguridad del producto, como el crecimiento de mohos, oxidación de lípidos y la infestación de ácaros. Por lo tanto, entre las posibles técnicas alternativas se encuentran; acelerar la velocidad de secado aumentando la temperatura y disminuyendo la humedad relativa de la cámara. En productos reestructurados también se puede favorecer el secado por la reducción del espesor y recorte de grasa intramuscular e intermuscular. Otra alternativa puede ser el uso de bolsas permeables al agua (Arnau et al., 2007).

En el presenta trabajo, se ha utilizado como nueva alternativa el uso de bolsas plásticas permeables al agua, en las etapas de salado y secado (Arnau et al., 2007; Lázaro, 2013). Esta

técnica consiste en salar los lomos, siguiendo un proceso de salado controlado, en el cual se dosifica una cantidad exacta de sal previamente establecida sobre la superficie de las piezas de lomo. Después, estas piezas se envasan al vacío en bolsas altamente permeables al vapor de agua. En este caso, el envasado al vacío solo se aplica con el fin de asegurar un buen contacto entre el producto y el material de envasado, ya que el vacío no se mantiene durante el procesado. Tras finalizar el reposo, se sacan los lomos de las bolsas y se les retira la sal restante de la superficie. Posteriormente, para la etapa de secado, se envasan en bolsas de alta barrera y se almacenan bajo determinadas condiciones (Lázaro, 2013). Por un lado, el uso de este tipo de envases permite que durante el salado se limite la cantidad de sal empleando un proceso de salado controlado. Esta metodología permite igualmente minimizar la manipulación del producto, reducir los residuos de sal y/o salmuera que se generan, así como también acelerar el proceso de elaboración del lomo. Asimismo, su aplicación durante el secado posibilita reducir el manejo del lomo con el fin de mejorar su higiene y unión (en el caso de productos reestructurados), comenzar antes el periodo de secado y prevenir la formación de costras (el envase impide que el agua que constituye la salmuera en la superficie se evapore rápidamente impidiendo el encostrado), el crecimiento de moho y la infestación de ácaros (Arnau et al., 2007; DeGeer et al., 2009).

2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

2.1. OBJETIVO

El **objetivo general** del presente trabajo es desarrollar un método alternativo al proceso de curado tradicional empleando bolsas permeables al vapor de agua para obtener un lomo curado con unas características físico-químicas, microbiológicas y sensoriales similares a los productos comerciales.

Con la finalidad de alcanzar este objetivo, se han planteado los siguientes **objetivos específicos**:

- Optimizar las condiciones de salado-curado haciendo uso de las bolsas permeables al vapor de agua.
- Estudiar el efecto que tiene el método alternativo sobre las características físico-químicas y microbiológicas del lomo al final del proceso.
- Comparar las características físico-químicas, sensoriales y microbiológicas del lomo curado obtenido por el método alternativo con los productos comerciales de lomo curado.

2.2. PLAN DE TRABAJO

Para conseguir los objetivos propuestos se ha elaborado el siguiente plan de trabajo:

1. Revisión bibliográfica sobre la aplicación de diversas tecnologías, el uso de bolsas permeables al agua para desarrollar productos cárnicos curados, así como también la mejora del control de sal y un reparto más homogéneo de la misma.
2. Selección de los parámetros físico-químicos, textura, color y microbiológicos más adecuados para evaluar el producto final.
3. Puesta a punto de las determinaciones analíticas a evaluar y realización de los análisis estimados.
4. Análisis estadístico de los datos e interpretación de los resultados.
5. Redacción del documento final.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Los equipos empleados en el presente trabajo fueron los siguientes:

- Autoclave P. Selecta (Barcelona, España).
- Balanza Kern modelo EG 220-3NM (Kern & Sohn, Balingen, Alemania).
- Balanza Kern modelo EW 1500-2M (Balingen, Alemania).
- Baño termostático SBS Instruments modelo BT-4, con temperatura regulable desde ambiente a 100°C (Barcelona, España).
- Cabina de flujo laminar Telstar AH-100 (Barcelona, España).
- Cámara de secado Binder con convección forzada modelo FD 115 (Binder GMBH, Tuttlingen, Alemania).
- Centrífuga Eppendorf modelo 5810 R (Eppendorf, Hamburgo, Alemania).
- Clorurímetro Sherwood modelo 926, precisión de ± 3 mg Cl-/L (Sherwood, Cambridge, Reino Unido).
- Envasadora de campana Tecnotrip mod. EV-25-CD (Barcelona, España).
- Estufa Binder rango 0-200°C con capacidad de 50 L (Tuttlingen, Alemania).
- Estufa J.P. Selecta rango 0-80°C con capacidad de 50 L (Barcelona, España).
- Fotocolorímetro Minolta CM 700-d (Osaka, Japón).
- Frigorífico Liebherr modelo Profiline (Liebherr-Internacional, Deutschland GmbH, Biberach an der Riss, Alemania).
- Higrómetro de punto de rocío Aqualab® CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA).
- Homogeneizador Ultraturrax modelo IKA T-25 digital (IKA-Labortechnik, Staufen, Alemania).
- pHmetro Crison micropH 2001 con electrodo de punción (Crison Instruments S.A, Alella, Barcelona, España).
- Picadora Ariete modelo 1820 (De'Longui, Treviño, Italia).
- Stromacher, IUL Instruments (Barcelona, España).
- Texturómetro Stable Micro Systems modelo TEXTURE ANALYZER-TA-XR2 (Godalming, Surrey, Reino Unido).
- Unidad de destilación semiautomática Büchi B-316 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Suiza).
- Unidad de digestión Büchi B-426 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Suiza).

3.2. MATERIA PRIMA

En el presente estudio se emplearon como materia prima lomos frescos (músculo *Longissimus dorsi*) de cerdo enteros adquiridos en un comercio de la ciudad de Valencia. El peso promedio de los lomos fue de 3529 ± 448 . Una vez adquirida la materia prima, ésta fue trasladada inmediatamente al laboratorio bajo condiciones de refrigeración y almacenada a 4 °C hasta el inicio de las experiencias. El tiempo transcurrido desde el sacrificio del animal hasta el procesado de los lomos fue el mismo para todas las piezas.

Para la caracterización fisicoquímica de la materia prima, se analizaron 3 porciones de lomo adquirido en el mismo establecimiento. En la materia prima de partida se analizaron los valores de humedad, contenido de grasa, pH y actividad de agua (a_w).

El proceso completo de salado-curado se realizó dentro de bolsas permeables al vapor de agua, que fueron suministradas por TUB-EX Aps (Taars, Dinamarca) (Tublin® 10, size 500 x 1000, 50µ; velocidad de transmisión del vapor de agua: 5000 g/50 µ/m²/24 h, 38°C/50% HR).

En el salado de las piezas de lomo se empleó cloruro sódico (NaCl) (Scharlab S.L., Barcelona, España) y los agentes de curado utilizados fueron nitrato potásico (KNO₃) y nitrito sódico (NaNO₂) fueron suministrados por VWR Ltd. (Leuven, Bélgica).

Así mismo, se analizaron lomos curados comerciales de tres marcas comerciales diferentes adquirido en diferentes establecimientos de la ciudad de Valencia. En estos productos se llevó a cabo la determinación de humedad, sal y a_w con el objetivo de establecer los valores que serían empleados como referencia del producto desarrollado en el presente trabajo.

3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Los lomos fueron salados empleando cloruro sódico (NaCl) y agentes de curado (nitrito sódico y nitrato potásico). La cantidad de agentes de curado fue 150 ppm de nitratos, en forma de nitrato potásico y 150 ppm de nitrito, en forma de nitrito sódico (en relación al peso de la materia prima). La incorporación de estas sales de curado se realiza con el fin de prevenir el desarrollo de microorganismos patógenos (Toldrá, 2006).

Los lomos fueron salados empleando un proceso de salado controlado donde se dosificó la cantidad exacta de sal necesaria para que, al finalizar el proceso, y una vez absorbida completamente la sal dosificada, el producto alcanzara una concentración de sal similar a los productos comerciales. El cálculo de la cantidad de sal a dosificar se realizó a partir del peso de cada una de las piezas de lomo, así como de la concentración de sal (expresada en base seca) y

de la humedad que se esperaba en el producto final. Para la realización de estos cálculos se empleó la siguiente ecuación:

$$M^{cl-} = X_{obj}^{cl-} \cdot M_0(1 - x_0^w) \quad (1)$$

Donde: M_0 es el peso de cada una de las piezas de lomo, X_{obj}^{sal} es la concentración de sal (expresada en base seca) en el producto final y x_0^w es un valor promedio del humedad del lomo fresco.

$$M^{sal} = X_{obj}^{sal} \cdot M_0(1 - x_0^w)$$

Los lomos fueron pesados individualmente, para calcular la cantidad de sal a dosificar en cada caso, se introdujeron en las bolsas permeables al vapor de agua y se depositó la cantidad de sal calculada formando una fina capa de sal lo más homogénea posible.

A continuación, los lomos se envasaron a vacío, aunque hay que señalar que el uso del vacío sólo se empleó con el fin de asegurar un buen contacto entre la carne y el material de envasado, ya que el vacío no se mantiene a lo largo del proceso, debido a la permeabilidad de la bolsa. Para favorecer este contacto, los lomos se introdujeron en mallas tubulares de hilos de goma. A continuación, se procedió a la etapa de salado donde los lomos permanecieron en nevera a 4°C durante 48 h. Tras este periodo, los lomos se llevaron a una cámara de humedad relativa y temperatura controlada donde permanecieron a 4 °C y 85 % HR durante 7 días (post-salado). Transcurridos 9 días desde el inicio del procesado, se modificaron las condiciones de la cámara a 4 °C y 83% estas condiciones se mantuvieron durante 55 días más, transcurridos los cuales se cambiaron a 8 °C y 78 % HR durante 10 días y finalmente se cambiaron a 10 °C y 65% HR hasta que los lomos presentaron una pérdida de peso del 40%. Para registrar las mermas en cada lomo durante todo el proceso de curado, los lomos fueron pesados periódicamente.

Una vez finalizado el proceso, los lomos se sacaron de las mallas y de las bolsas permeables y fueron envasados al vacío y almacenados en condiciones de refrigeración hasta el momento de análisis.

3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.4.1. Humedad

La determinación de humedad de la materia prima como de los lomos curados se realizó según el procedimiento descrito por la AOAC (1997). En primer lugar, se añadieron aproximadamente 10 g de arena de mar limpia y desecada, junto a la varilla de cristal a los pesasustancias. Se secaron en estufa a 103 ± 2 °C durante 24 h. Tras este periodo, los pesasustancias se pesaron en

una balanza analítica (m_0) y se añadieron 5 g de lomo reviamente triturado, pesándose nuevamente su contenido en una balanza analítica (m_1). A continuación, con la ayuda de la varilla de cristal, se homogeneizó la muestra junto con la arena de mar para facilitar la salida total de agua. Después se introdujeron en la estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se extrajeron, atemperaron y se pesaron nuevamente en la balanza analítica (m_2).

El porcentaje de humedad de la muestra se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

Donde:

m_0 = masa del pesasustancias con arena y varilla (g).

m_1 = masa del pesasustancias con arena, varilla y muestra antes de la desecación (g).

m_2 = masa del pesasustancias con arena, varilla y muestra después de la desecación (g).

3.4.2. Grasa

La determinación de grasa se realizó por extracción con éter de petróleo según el método 991.36 de la AOAC (1997). En esta determinación se empleó el producto obtenido tras la determinación de la humedad. El contenido del pesasustancias se introdujo en un cartucho de extracción de celulosa Albet® 900 (Filalbet, Barcelona, España). Este cartucho se colocó en el equipo sistema de extracción Soxten™. La materia grasa se recogió en las cubetas de extracción. El cálculo del porcentaje de grasa expresado en g de proteína por 100 g de muestra se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ grasa} = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \cdot 100$$

Donde:

m_0 = masa de la muestra (g).

m_1 = masa del matraz (g).

m_2 = masa del matraz con la grasa extraída (g).

3.4.3. pH

La medición del pH se realizó directamente sobre los cortes transversales de los lomos empleando un pH-metro con un electrodo de punción acoplado. La muestra se preparó previamente retirando aproximadamente 1 cm de los extremos del filete, realizándose la misma

operación con cada uno. A continuación, se tomaron 6 lecturas en distintos puntos de la muestra. A partir de estas lecturas se obtuvo el pH promedio de cada muestra.

3.4.4. Contenido en cloruros

La determinación del contenido en cloruros se realizó mediante el uso de un analizador automático de cloruros. La preparación de la muestra se llevó a cabo homogeneizando 1g de muestra en 50 mL de agua destilada. Para homogenizar la mezcla se utilizó un homogenizador Ultra-turrax durante 1 min. Posteriormente, la disolución se centrifugó durante 10 min a 2000 rpm. A continuación, se filtró el sobrenadante y se realizó la disolución de la muestra para que su lectura entrara en el rango de lectura del equipo. Seguidamente, se tomó una alícuota de 500 µL y se valoró en el analizador automático de cloruros.

A partir del valor que proporciona el equipo (mg Cl⁻/L), se procedió al cálculo de la concentración de cloruro en las muestras mediante la siguiente ecuación:

$$\text{g Cl}^{-}/\text{g de muestra} = \frac{\text{Lectura} \cdot d \cdot V}{m \cdot 10^3}$$

Donde:

Lectura = valor dado por el equipo (mg Cl⁻/L).

d= factor de dilución de la muestra

V = volumen de la disolución (L).

m = masa de la muestra (g).

3.4.5. Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua (a_w) se determinó a partir de las muestras de lomo previamente trituradas. Para dicha determinación se utilizó un higrómetro de punto de rocío Aqualab modelo 4TE (Decagon Devices, Inc., Washington, USA).

3.4.6. Determinación de proteínas

La determinación de proteínas de la carne se realizó por el método de Kjeldahl, tal y como se describe en el método 928.08 de la AOAC (1997). Este método permite analizar el contenido en nitrógeno total y consta de tres etapas: digestión, destilación y valoración.

Digestión: En un tubo kjeldahl se introdujeron 1 g de muestra exactamente pesada y 3 g de catalizador compuesto por K₂SO₄, CuSO₄ y Se en una proporción (10:1:0,1). Seguidamente, se

añadieron 10 mL de H_2SO_4 (98% v/v) y 5 mL de H_2O_2 (30% v/v). A continuación, los tubos se introdujeron en una unidad de digestión donde se calentaron a 450°C hasta digestión completa.

Destilación: La disolución obtenida tras la se diluyó en frío con 50 mL de agua destilada. Se añadió un exceso de hidróxido de sodio 10 y se llevó a una unidad de destilación semiautomática donde se destiló durante 6 min. El amoníaco liberado durante la destilación se recogió sobre 50 mL de una disolución de ácido bórico (4% p/v).

Valoración: El amoníaco recogido sobre el ácido bórico se valoró con H_2SO_4 0,3 N en presencia del indicador Shiro T-Shiro.

Paralelamente se realizó un ensayo en blanco. La cantidad de proteína se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ proteína} = \frac{(V_m - V_b) \cdot N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot f \cdot \text{Peq}_{\text{N}_2} \cdot 6,25}{m} \cdot 100$$

donde:

V_m = volumen de ácido empleado en la valoración (L).

V_b = volumen de ácido empleado en el ensayo en blanco (L).

$N_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ = normalidad del ácido sulfúrico.

f = factor de la normalidad del ácido sulfúrico.

$\text{Peq}_{\text{N}_2} = 14$.

m = masa de muestra (g).

3.4.7. Determinación del contenido de nitrógeno no proteico (NNP)

Para la determinación del nitrógeno no proteico, se empleó el método de Careri et al. (1993) citado por Stadnik et al. (2013). Primeramente, se pesaron 20 g de la muestra de lomo curado previamente triturado y se homogeneizaron con 180 mL de agua destilada, utilizando un homogeneizador Ultraturax. El homogeneizado se centrifugó a 8500 g durante 15 min a 5 ° C.

Posteriormente, se tomaron 50 mL del sobrenadante obtenido a 50 mL de 5% ácido tricloroacético y se dejó reaccionar durante la noche a 4 ° C. Transcurrido este tiempo, la mezcla se volvió a centrifugar a 8500 g durante 10 min a 5 ° C y se filtró empleando papel de filtro. A partir de 25 mL de este filtrado se determinó el nitrógeno no proteico por el método Kjeldahl previamente descrito, usando una unidad de digestión. El resultado se expresó como mg / 100 g de materia seca de la muestra.

El contenido en nitrógeno total (NT) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% NT = \frac{(V_m \cdot V_b) \cdot N_{H_2SO_4} \cdot f \cdot Peq_{N_2}}{m} \cdot 100$$

donde:

V_m = volumen de ácido empleado en la valoración (L).

V_b = volumen de ácido empleado en el ensayo en blanco (L).

$N_{H_2SO_4}$ = normalidad del ácido sulfúrico.

f = factor de la normalidad del ácido sulfúrico.

$Peq_{N_2} = 14$.

m = masa de muestra (g).

3.5. COLOR

La determinación de color se efectuó en la superficie de los filetes de lomo curado mediante el uso de un fotocolorímetro. La muestra se cubrió con un vidrio óptico de baja reflectancia para evitar que la esfera se deteriorase. Para cada filete de lomo, se hicieron 7 lecturas en diferentes partes del centro. Así pues, el color se determinó a partir de las coordenadas colorimétricas del sistema CIE $L^*a^*b^*$ donde: L^* (Luminosidad), a^* (desviación hacia el rojo y el verde) y b^* (desviación hacia el amarillo y el azul).

3.6. PROPIEDADES MECÁNICAS: Análisis de doble compresión o TPA

Para el estudio de las propiedades mecánicas de los filetes de lomo se realizó un ensayo de doble compresión o TPA. Con el fin de garantizar la homogeneidad de las muestras durante la experiencia, la medición se realizó en la dirección de las fibras musculares, empleando porciones de la muestra de 1 x 1 x 3 cm cada una.

El ensayo de TPA tiene como finalidad simular el movimiento de una mandíbula durante la masticación. Para ello, se empleó un émbolo semicircular y plano de 7,5 cm de diámetro mediante el cual se comprimió la muestra dos veces hasta el 60% de su altura, a una velocidad constante de 0,2 mm/s. Durante el ensayo el equipo registra la fuerza necesaria para comprimir la muestra bajo las condiciones establecidas y la representación de estos valores da lugar a una curva fuerza/desplazamiento. El análisis de las curvas fuerza/desplazamiento dadas para este ensayo permitió obtener los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad de las muestras.

3.7. DETERMINACIONES MICROBIOLÓGICAS

Para realizar los análisis microbiológicos, se tomaron muestras a partir de las cuales se prepararon diluciones decimales, tal y como se describe en la Norma UNE EN-ISO 6887-3 (AENOR, 2004). Así pues, se pesaron 10 g de muestra en una bolsa de stomacher a la que se añadieron 90 mL de agua de peptona tamponada estéril (Scharlau, Barcelona, España). La mezcla se homogeneizó en el stomacher durante 1 min, correspondiendo el contenido de la bolsa a la dilución 10^{-1} . De esta dilución se pipeteó 1 mL, el cual se llevó a un tubo de ensayo estéril que contenía 9 mL de agua de peptona tamponada, se agitó en el agitador de tubos durante 10 s, obteniendo de esta forma la dilución 10^{-2} . Para obtener la dilución 10^{-3} , se tomó 1 mL de la dilución 10^{-2} con 9 mL de agua y se agitaron durante 10 s. Así sucesivamente se prepararon las diluciones correspondientes.

3.7.1. Aerobios mesófilos

El método empleado fue el descrito por la Norma UNE-EN ISO 4883 (AENOR, 2003). Se realizaron siembras en Agar Plate Count (Scharlau). Todas las siembras se realizaron por duplicado y las placas se incubaron a 30 ± 1 °C durante 72 h.

3.7.2. Enterobacterias

El procedimiento que se utilizó para el recuento de enterobacterias fue el indicado por Pascual y Calderón (2000). A partir de cada una de las series de diluciones decimales, se realizaron siembras en doble capa en agar Violeta Rojo Bilis Glucosa (VRBG, Scharlau). Las placas se incubaron a 37 ± 1 °C durante 18-24 h. Se contaron las colonias rojo-violeta rodeadas de un precipitado también violeta.

3.7.3. Recuento de bacterias ácido lácticas

El cultivo de bacterias ácido lácticas se realizó en profundidad mediante el medio selectivo para lactobacilos y otras bacterias ácido lácticas *Man, Rogosa y Sharpe Agar* (MRS, Scharlau), incubando las placas a 37 °C durante 72 h.

3.8. EVALUACIÓN SENSORIAL

Los lomos obtenidos fueron evaluados por un panel compuesto por 9 catadores entrenados. El panel estaba formado por 2 mujeres y 3 hombres, miembros del Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universitat Politècnica de Valencia. Este panel fue seleccionado y entrenado con anterioridad según los criterios establecidos en la norma ISO 8586:2012 (AENOR, 2014). Los

miembros de este panel entrenado habían participado en estudios similares con anterioridad, por lo que no fueron sesiones de entrenamiento específicas para este trabajo.

Los catadores evaluaron dos muestras, una muestra de lomo curado comercial y una muestra de lomo obtenido por el nuevo procedimiento de salado-curado simultaneo empleando las bolsas permeables al vapor de agua. Las muestras de lomo se presentaron a los catadores porciones de 2 x 2 cm, obtenidas de la zona central de secciones transversales de lomo de 2 mm de espesor. Las muestras fueron presentadas a los catadores por separado, codificadas con números aleatorios de tres cifras y en orden aleatorio.

Los atributos sensoriales empleados en estas valoraciones fueron los mismos empleados en otros estudios previos similares realizados por el grupo de investigación. En la evaluación sensorial de las muestras de lomo se empleó un Análisis Cuantitativo Descriptivo (QDA) donde se evaluaron el aspecto (apariencia), textura y aroma de las muestras del producto. La valoración de los descriptores se efectuó empleando una escala no estructurada de 10 cm, donde los extremos indicaban la ausencia del atributo evaluado y la máxima manifestación del mismo (desde nada intenso hasta excesivamente intenso).

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los datos obtenidos de los parámetros analizados de las muestras se realizó un ANOVA simple para comprobar la existencia de diferencias significativas para cada lomo entre los bordes y la zona central. Se utilizó el procedimiento LSD (least significant difference) para comprobar las diferencias a un nivel de significación del 5%. Para realizar el tratamiento de datos estadísticos se usó el programa Statgraphics Centurion XVI (Manugistics Inc., Rockville, MD, EE.UU.).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Con el objetivo de conocer algunos de los parámetros que tienen un mayor efecto sobre el proceso de salado-curado en la materia prima se analizaron 3 muestras de lomo fresco procedentes del mismo establecimiento donde fueron adquiridos los lomos empleados en el salado-curado. En esta caracterización se determinaron los valores de humedad, grasa, pH y a_w . Los valores de humedad promedio de esas porciones se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Valores de humedad, grasa, a_w y pH obtenidos en la caracterización del lomo fresco empleado como materia prima (n=3).

Parámetros analizados	
Humedad (g/100 g)	$73,6 \pm 0,4$
Grasa (g/100 g)	$2,6 \pm 0,5$
pH	$5,56 \pm 0,43$
a_w	$0.982 \pm 0,001$

Los lomos analizados presentaron un valor de humedad promedio inferior al 74% lo que coincide con los valores dados por otros autores para este tipo de carne (Hayes et al., 2006; Hernandez et al., 1999). El lomo de cerdo se caracteriza por valores de humedad elevados (superiores al 73-74%) y de grasa bajos (próximo al 1%) comparado con otras zonas del animal, que también son empleadas para la elaboración de productos crudo-curados. El contenido en grasa de los lomos analizados fue del 2.6%, lo que coincide con los valores dados por otros autores para este tipo de carne (Joo et al., 2002). Sin embargo, hay que destacar que el contenido de grasa intramuscular del lomo está muy influenciado por el sistema de cría y alimentación del animal, por lo que pueden aparecer contenidos de grasa variable para este mismo alimento en función de estas variables. Diferentes autores han estudiado el efecto que tiene diferentes tipos de dieta sobre el contenido de grasa intramuscular en el lomo de cerdo, ya que un aumento en el contenido de grasa intramuscular puede mejorar la capacidad de retención de agua, lo que tiene un gran interés desde un punto de vista tecnológico (Joo et al., 2000). Esta variabilidad se manifiesta con el contenido variable de grasa en ciertos productos curados, así por ejemplo podemos encontrar productos con un alto contenido en grasa intramuscular como el jamón ibérico con un contenido superior al 9% y el jamón serrano con valores próximos al 3% (Gilles, 2009). Esta variabilidad es importante no solo desde el punto de vista sensorial, ya que la grasa

intramuscular proporciona palatabilidad al producto y es responsable de los aromas y sabores característicos de este tipo de producto, sino que tiene muy gran interés desde un punto de vista tecnológico, ya que la grasa ejerce de barrera a los fenómenos de transferencia de materia. Este efecto barrera de la grasa provoca que en los productos con un mayor contenido de grasa intramuscular procesos de salado y curado se ralentizarían, prolongando los procesos de curado del producto. En este sentido es interesante destacar el interés que podría tener realizar nuevas experiencias empleando otras materias primas como lomos procedentes de razas ibéricas y comprobar su comportamiento bajo este nuevo sistema de procesado.

Otro de los principales factores que determina la aptitud de la carne para ser sometida a los procesos de curado es el pH, ya que este parámetro influye en las propiedades funcionales de la carne, tales como capacidad de retención de agua, solubilización de proteínas, etc.; en el color, y la susceptibilidad de la carne al ataque microbiano. En condiciones normales, inmediatamente después del sacrificio el músculo presenta valores de pH próximos a 7. A medida que avanzan los procesos posmortem el glucógeno se va degradando dando lugar a la formación de ácido láctico, acidificándose de este modo la carne. El pH final va a depender de numerosos factores, tales como especie, tratamientos antemortem, temperatura, etc. En productos crudos, valores de pH de 5.4-5.8 resultan adecuados; niveles superiores a 6.2 suponen que la carne no debe destinarse a la elaboración de estos embutidos, ya que son más fácilmente atacables por microorganismos y, además, tienen peor consistencia (Jiménez-Colmenero & Carballo, 1989). La carne empleada en el presente estudio presentó valores dentro del rango anteriormente mencionado para la obtención de productos curados de alta calidad. Algunos autores incluso han dado valores más amplios, recomendando pH (a las 24 h post-mortem) entre 5.5 y 6.1 (Lesiów & Xiong, 2013).

Los valores de actividad de agua de la materia prima fueron elevados tal y como cabría esperar a este tipo de producto donde los valores de humedad son elevados.

Con el objetivo de establecer los valores de los parámetros fisicoquímicos de los lomos curados que se comercializan actualmente en el mercado español, se analizaron lomos curados procedentes de 3 marcas comerciales diferentes. Los análisis realizados a estos productos fueron determinación de humedad, contenido en sal y actividad de agua (a_w). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Valores de humedad, sal y a_w para diferentes marcas comerciales de lomo curado (media \pm sd, n=3).

Parámetros analizados	Marca A	Marca B	Marca C
Humedad (g agua/100 g)	49,1 \pm 0,4	47,1 \pm 0,3	51,0 \pm 0,3
Sal (g NaCl /100 g)	3,6 \pm 0,5	4,9 \pm 0,5	4,8 \pm 0,6
a_w	0,927 \pm 0,004	0,917 \pm 0,001	0,923 \pm 0,003

4.2. PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL PROCESO DE SALADO-CURADO EMPLEANDO BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA

Tal y como se ha mencionado anteriormente el presente estudio tiene como objetivo optimizar las condiciones de procesamiento de lomo curado utilizando un procedimiento de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua. En este procedimiento se combina el empleo de un salado controlado, donde únicamente se dosifica la cantidad de sal deseable en el producto final, con el empleo de bolsas permeables al vapor de agua que permitirán el secado del producto y protegerlo de posibles contaminaciones externas.

En un estudio previo llevado a cabo por el mismo grupo de investigación se demostró la elevada permeabilidad de las bolsas. Los resultados obtenidos mostraron que las condiciones empleadas en ese caso permitieron un secado excesivo del producto, provocando un cierto encostramiento del producto bajo esas condiciones de secado utilizadas. Así pues, se entiende por encostrado la presencia de una capa superficial reseca y con baja elasticidad mientras que el interior del producto está aún tierno. El encostrado se produce debido a una mayor tasa de secado sobre la parte externa mientras que en la parte interna existe un elevado contenido de agua. Cuando se efectúa un secado muy rápido de la superficie la difusión del agua desde la zona interna no es suficiente para compensar la deshidratación superficial y en consecuencia ésta se endurece y se forma la costra (Flores, 2001). Entonces, el encostrado puede producirse, entre otras causas, por un secado muy rápido de la superficie, también puede facilitarse por el uso de una materia prima muy magra, en la que el secado es muy rápido o por un pH elevado.

Debido a que el estudio previo dio lugar a un encostrado de las piezas, fue necesario llevar a cabo la optimización de unas nuevas condiciones de secado. Es por ello que el objetivo de este estudio ha sido determinar unas nuevas condiciones de procesamiento que permitieran evitar el encostramiento de las piezas y alcanzar una humedad en el producto final homogénea dentro de la pieza y con valores similares a los productos comerciales.

A lo largo de las diferentes etapas del proceso, los lomos se pesaron periódicamente con el objetivo de determinar las mermas en el producto y determinar el tiempo final del periodo de secado. Según los resultados obtenidos en estudios previos y, considerando un proceso de secado más homogéneo de las piezas se estableció que el final del proceso se produce cuando las porciones de lomo registran una pérdida de peso dentro del rango del 35-40% respecto al peso inicial de las piezas. Estos valores de mermas en el producto son similares a los establecidos por otros autores (Bjarnadottir et al., 2015).

Tal y como se muestra en la figura 4.1, la duración del proceso de curado de los lomos fue aproximadamente de unos 75 días. A partir de estos resultados y considerando que los lomos curados que se comercializan actualmente en el mercado presentan un periodo de curado de unos 3 meses, se podría establecer que este nuevo proceso permitiría reducir ligeramente los tiempos de procesado. Sin embargo, para asegurar esta reducción en los tiempos de proceso y alcanzar una calidad óptima del producto serían necesarios más estudios encaminados al estudio del comportamiento del producto en cada una de estas fases y modelizar los fenómenos de transferencia de agua y de solutos en cada etapa del proceso.

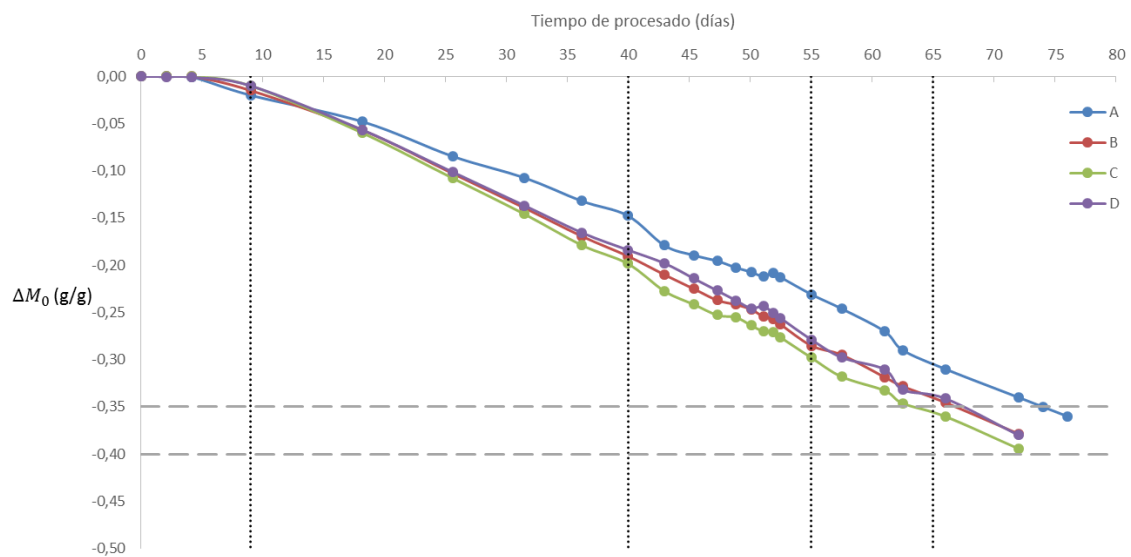


Figura 4.1. Tiempo de procesado (días) y variación de peso (ΔM_0) de los diferentes lomos durante el proceso de curado empleando bolsas permeables al vapor de agua.

4.3. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LOS LOMOS OBTENIDOS POR EL NUEVO PROCEDIMIENTO DE SALADO-CURADO EMPLEANDO BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA

Con el objetivo de determinar el estado del producto una vez alcanzadas las mermas establecidas, se tomaron muestras de cada uno de los lomos en diferentes secciones de las piezas, diferenciando entre la parte central y los bordes de dichas secciones. Esta diferenciación entre centro y bordes se realizó con el objetivo de detectar encostramiento de las piezas. Los valores de humedad de los lomos al finalizar el proceso de curado se muestran en la figura 4.2.

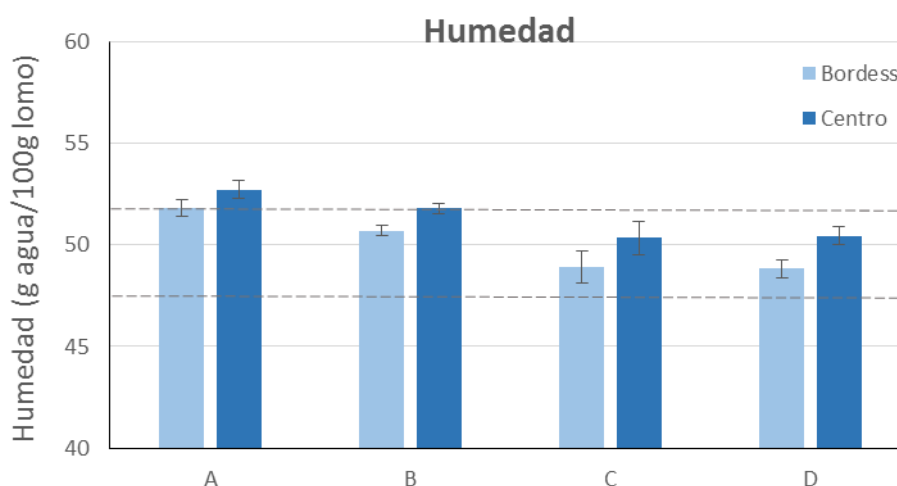


Figura 4.2. Valores de humedad en las zonas “centro” y “bordes” de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3). Las líneas horizontales punteadas indican el rango de valores entre los que se encuentran los productos comerciales analizados.

Se observaron diferencias significativas entre los valores de humedad de la zona central y los bordes de los lomos ($p > 0.001$). Las diferencias de humedad entre centros y bordes son inferiores al 2% lo que evidencia la ausencia de encostramiento en las piezas obtenidas por el procedimiento desarrollado en este trabajo. En este sentido, considerando que el encostramiento es uno de los principales problemas de calidad en estos productos, se puede establecer qué control de las condiciones de secado es determinante sobre la calidad del producto final. Es por ello que la selección de las condiciones de humedad relativa y temperatura

adecuadas en cada una de las fases permite obtener un producto con los estándares de calidad adecuados.

En general, los valores de humedad promedio de las piezas de lomo se encontraron dentro del rango establecido para los productos comerciales. Según la definición del Real Decreto 474/2014 por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos, el “lomo embuchado” deberá presentar un valor de humedad máximo de 55.0 g/100 g. Considerando las características físico-químicas que se definen en esta norma, resultaría interesante optimizar las condiciones de curado con la finalidad de conseguir reducir los valores de humedad en el interior del producto final. Cabe mencionar que, entre los diferentes lomos curados disponibles en el mercado, existe cierta variabilidad respecto a este parámetro debido a que estos valores vienen determinados por las características particulares del producto y los estándares de cada productor. Según los datos aportados por la bibliografía consultada, los valores de productos de lomo de cerdo blanco comerciales presentan en general valores comprendidos entre el 45 y 49% de humedad (Aliño et al., 2009; Campus et al., 2008). Estos valores son significativamente inferiores en el caso de los lomos ibéricos curados debido a su mayor nivel de engrasamiento (Muriel e et al., 2004; Soto et al., 2008). En cambio, otros autores como Hernández et al. (1999) proporcionan valores de humedad para lomo curado (58.5 g agua/100 g lomo) similares a los obtenidos en este trabajo para la zona central de los lomos.

Los valores de sal de los productos obtenidos por el nuevo procedimiento tal y como se muestra en la figura 4.3., fueron similares a los de los productos comerciales. Los valores de las piezas de lomo analizados son similares a los datos proporcionados por autores como (Ventanas, 2006) para lomos comerciales. Analizó lomos de cerdo ibéricos puros y cruzados al 50% obteniéndose valores de concentración de sal del 3%. Asimismo, los valores de sal obtenidos en el presente trabajo también son similares a los encontrados en etiquetas de lomos curados de diferentes marcas comerciales. Así pues, los valores de sal obtenidos se encuentran dentro del rango establecido para los productos comerciales.

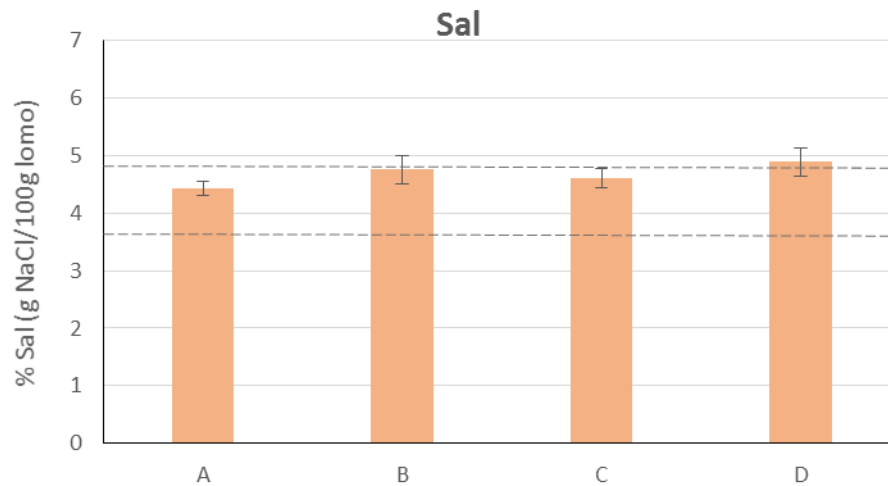


Figura 4.3. Valores concentración de sal (g NaCl/100 g producto) de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3). Las líneas horizontales punteadas indican el rango de valores entre los que se encuentran los productos comerciales analizados.

El descenso de humedad e incorporación de sal en el lomo como consecuencia de los procesos de salado y secado son responsables del descenso de los valores de a_w del producto (figura 4.4.). Los valores obtenidos están dentro del rango observado para los productos comerciales.

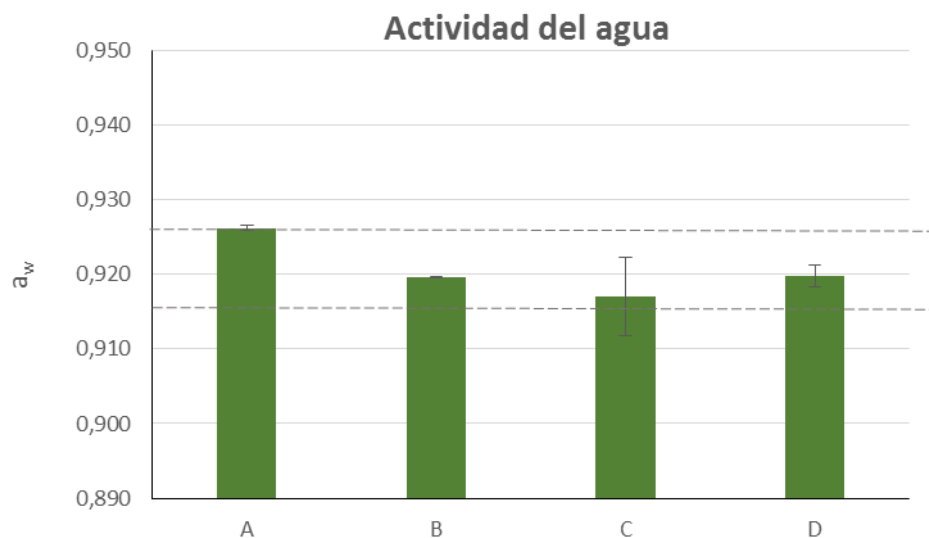


Figura 4.4. Valores de actividad de agua (a_w) de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3). Las líneas horizontales punteadas indican el rango de valores entre los que se encuentran los productos comerciales analizados.

El descenso en los valores de a_w en los productos curados es el principal factor que interviene en la conservación de este tipo de productos. El término a_w refleja la disponibilidad de agua que existe en un alimento para reacciones bioquímicas y crecimiento microbiológico. La a_w en la superficie de los productos cárnicos curados depende de la humedad relativa del aire de secado y de la relación entre la transferencia interna y transferencia externa (Gou et al., 2003). Es por ello que es imprescindible controlar los valores de HR durante el procesado para garantizar unos correctos valores de a_w o humedad en la superficie, por encima de aquellos valores críticos que pudieran ocasionar el encostrado de las piezas.

El parámetro de a_w es determinante también en la actividad enzimática de los productos cárnicos (Toldra, 1992). Es interesante destacar que, durante el procesado de elaboración de los productos cárnicos curados, a medida que disminuye la a_w y aumenta la temperatura, se suceden los fenómenos de proteólisis y lipólisis, importantes para el desarrollo de la textura, aroma y sabor del producto final. En este sentido, la ausencia de diferencias en los valores de a_w según el tipo de sal utilizada podría indicar que en ambos casos los procesos bioquímicos determinantes para definir las características sensoriales del producto no se verían afectadas.

Se han realizado diferentes trabajos con jamón curado y, en ellos se han establecido que los jamones curados con mayor índice de proteólisis presentan mayor cohesividad, elasticidad y menor dureza que aquellos jamones curados que tienen menor índice de proteólisis. Por ello, la determinación del valor de humedad en la superficie del jamón y lomo curados a lo largo de proceso es clave para permitir regular los parámetros de secado (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire), y de esta manera mantener el valor de humedad en la superficie por encima del valor crítico de aproximadamente 0,6 para jamón curado y de 0,8 para lomo curado. Con ello, se logra evitar el encostrado y mejorar la calidad del secado (Ruiz, 2005). Así pues, estas medidas están encaminadas a evitar el encostramiento de las piezas de carne durante su procesado.

En general, el proceso de curado provocó un ligero aumento de los valores de pH de los lomos desde un valor de pH promedio de la materia prima igual a 5.6, hasta valores que oscilaron desde 5.7 hasta 5.9 (figura 4.5.). Estos valores son similares a los observados por otros autores para este tipo de productos (Sánchez-Molinero, 2003). Durante el procesado, los valores de pH presentan una tendencia a aumentar ligeramente, tanto en superficie como en el interior, a lo largo del proceso (Arnau et al., 1995).

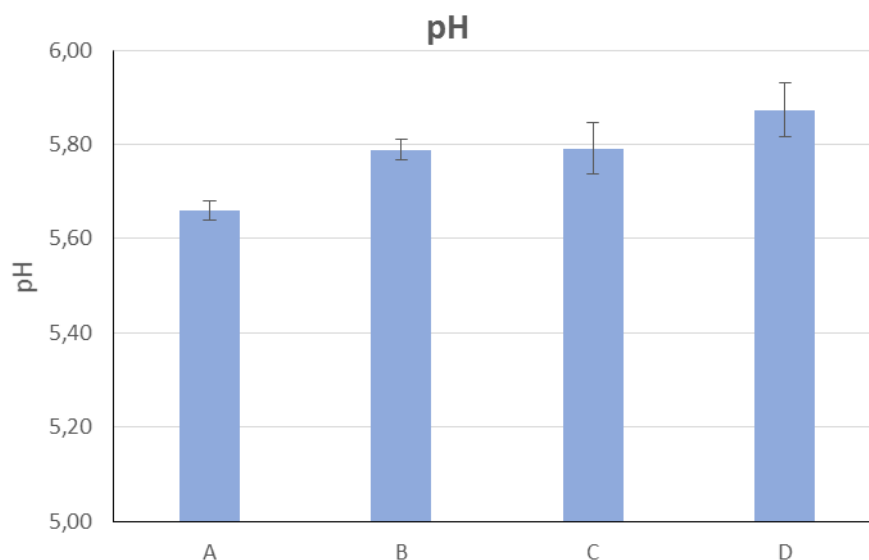


Figura 4.5. Valores de pH de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3).

En los productos curados, el incremento del pH está condicionado por la actividad enzimática que se produce a lo largo del proceso de elaboración de este tipo de productos. Durante todo el proceso de maduración tiene lugar una serie de reacciones proteolíticas que liberan compuestos alcalinos (moléculas nitrogenadas de bajo peso molecular) que son responsables del aumento del pH y de conferir a estos productos sus características particulares. Cabe añadir que, a diferencia de otros productos cárnicos, en los productos crudo-curados con integridad anatómica como el jamón y el lomo se produce un ligero aumento en los valores de pH (Pérez-Álvarez et al., 1997). En la elaboración de este tipo de productos se añade únicamente cloruro de sodio y sales nitrificantes, de manera que la falta de hidratos de carbono en su interior hace que el pH se mantenga relativamente estable durante el proceso de elaboración, con valores próximos a 6 (López-Brote et al., 1993). Sin embargo, otros autores como Pérez-Álvarez et al. (1997) encontraron una disminución significativa en los valores de pH de lomo embuchado donde se empleó “pimentón” en su elaboración. Estos resultados se atribuyeron a la carga microbiana del pimentón que puede metabolizar los azúcares presentes en este o en los agentes de curado. Resultados similares fueron encontrados en otros derivados cárnicos como “chorizo” (Rosmini 1996) donde la actividad de las bacterias ácido-lácticas es determinante en la elaboración del producto.

Los parámetros obtenidos a partir del ensayo de TPA se muestran en la figura 4.6.

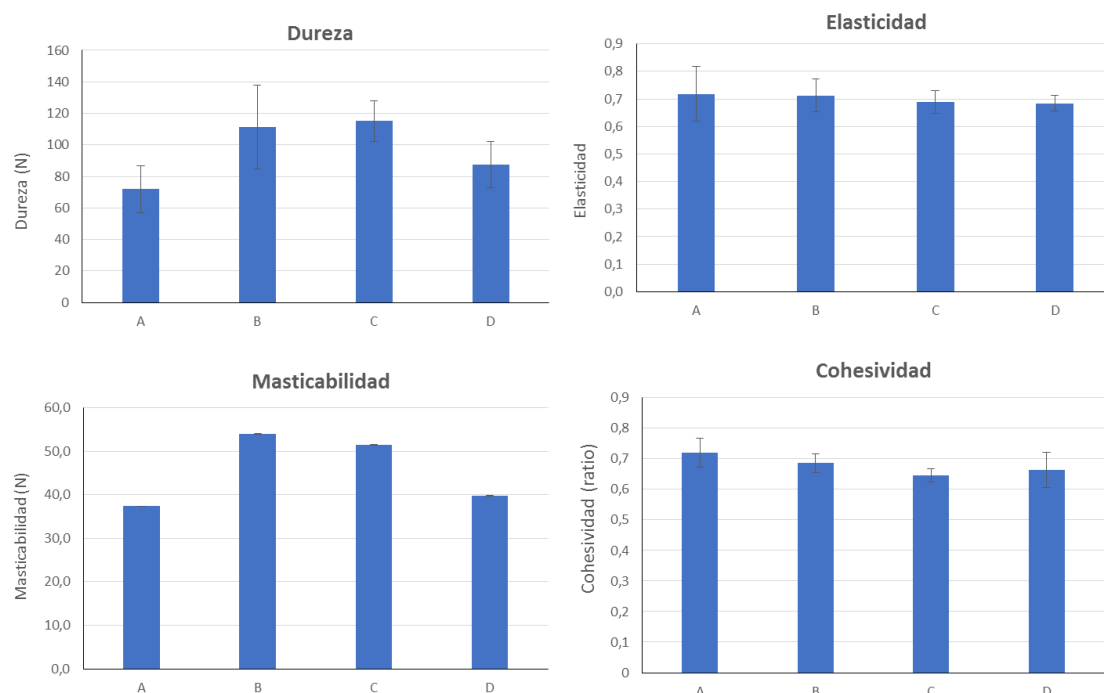


Figura 4.6. Valores de los parámetros de dureza, elasticidad, masticabilidad y cohesividad de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3).

Los valores de los parámetros de dureza, elasticidad, masticabilidad y cohesividad obtenidos en este trabajo coinciden con los dados por Ruiz-Ramírez et al.(2005) para este tipo de producto. En el estudio previo realizado se compararon los parámetros de textura ya mencionados entre piezas de lomo curado con y sin encostramiento. En este estudio se estableció que los lomos curados con encostramiento presentaron mayor dureza, masticabilidad y menor cohesividad que aquellos lomos curados sin costra. Los parámetros de a_w y humedad están estrechamente relacionados con los parámetros de textura ya que los lomos con encostramiento presentaron valores más bajos de a_w y humedad que los que no tienen costra, principalmente, en las zonas más próximas a la superficie. Así pues, los valores obtenidos en el presente trabajo para los parámetros de textura evaluados coinciden con los dados por Lorigo et al. (2014) y ligeramente superiores a los dados por Aliño et al., (2010) en productos de lomo curado con sustitución parcial de sodio por potasio.

Los resultados de color obtenidos en el presente estudio se muestran en la figura 4.7.

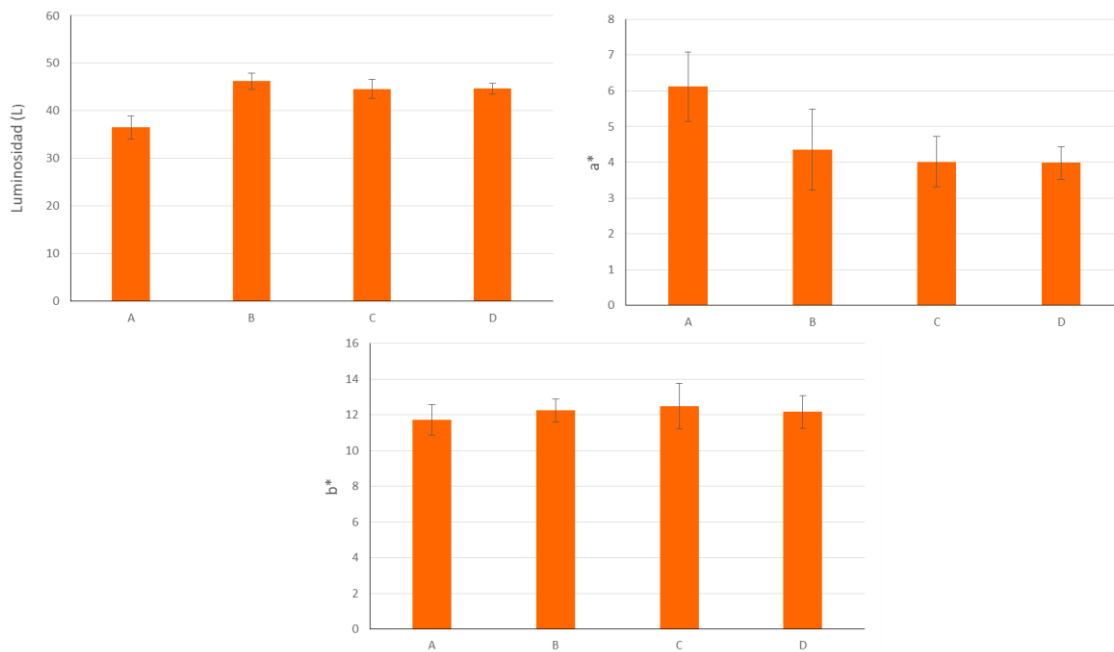


Figura 4.7. Coordenadas de color L*: luminosidad, a*: rojo-verde y b*: amarillo-azul de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3).

Los valores de luminosidad de las piezas de lomo obtenidos en el presente trabajo oscilaron entre 40 y 50. Estos valores coinciden con los dados por Cava et al. (2009) para este mismo tipo de producto. Y similares también a los obtenidos en otro estudio realizado por Salazar-Serna et al. (2013) para lomos curados procedentes del cerdo Chato Murciano.

Los valores de a* fueron ligeramente superiores a los obtenidos por Aliño et al. (2009) para lomos curados salados en bolsas al vacío. Estas diferencias con el producto obtenido por estos autores, en el caso de los productos curados, radica en su coloración. Esta coloración se debe fundamentalmente al pigmento nitrosilmioglobina que se forma a partir de la mioglobina muscular, como consecuencia de la adición de nitratos y/o nitritos. Debido esencialmente a la acción microbiana, los nitratos son reducidos a nitritos, y éstos a óxido nitroso. Por otra parte, la mioglobina y oximioglobina son oxidadas a metamioglobina. Finalmente, la metamioglobina reacciona con el óxido nitroso para formar nitrosilmioglobina. Se ha observado que aproximadamente entre un 20 y un 40% de la mioglobina es transformada en nitrosilmioglobina. La cantidad de nitrosilmioglobina formada depende de la cantidad de mioglobina existente en el músculo, de manera que, a mayor contenido de mioglobina, el producto tendrá un color más intenso (mayor saturación de color) (Muriel et al., 2003).

Los valores de b^* de los lomos salados por el nuevo procedimiento son similares a los proporcionados por Salazar-Serna et al.(2013). Según Ventanas (2006), el valor de esta coordenada viene determinado por las características de la grasa. También se ha relacionado con la cantidad de nitrosomioglobina oxidada, que se trata de un pigmento que contribuye a las coloraciones amarillentas.

En general los valores de las coordenadas de color L, a y b son cercanos a los obtenidos por Lorigo et al (2015) en jamón serrano. En este mismo estudio, los autores establecieron importantes diferencias en el color de los productos curados de jamón ibérico y jamón serrano, lo que señalaría el importante efecto de la materia prima sobre el color final de la muestra.

Los resultados de la determinación de nitrógeno no proteico (NNP) y proteico (NP) se muestran en la Figura 4.8. El análisis estadístico mostró la ausencia de diferencias significativas entre los diferentes lomos ($p>0.5$) respecto ambos parámetros. Tampoco se observaron diferencias entre las zonas centrales y los bordes respecto a ambos parámetros.

El contenido de NNP en los productos cárnicos curados aumenta durante las etapas de maduración-secado en los productos cárnicos secos debido a la proteólisis y, por consiguiente, a la descomposición proteica (Stadnik et al., 2013). En el presente estudio todas las muestras habían sido procesadas bajo las mismas condiciones por lo que la ausencia de diferencias queda justificada. Los resultados obtenidos en el presente estudio son ligeramente inferiores a los dados por Stadnik et al. (2013) para este mismo parámetro en productos de cerdo fermentados y curados. Los valores obtenidos en dicho estudio fueron aproximadamente de 324 mg/100 g producto, siendo estas diferencias atribuibles a las diferentes condiciones de procesado. Los valores de NNP obtenidos también son inferiores a los aportados por Salazar-Serna et al. (2013) para este parámetro en lomos curados de cerdo Chato Murciano. Los valores para este mismo tipo de producto fueron aproximadamente de 380 mg/100g de lomo. Estas diferencias se deben a las diferentes condiciones de procesado y las características del animal. Hay que señalar que, de acuerdo con un estudio realizado por Wu et al. (2014) para el tocino curado en seco, la degradación de proteína da lugar a un incremento de la concentración de NNP como ha ocurrido en los lomos del presente trabajo, lo que evidencia que estos cambios en las proteínas contribuyen de manera importante al sabor en forma de pequeños péptidos y aminoácidos.

Los valores del contenido de NP corresponderían a un contenido proteico en torno al 30%, siendo estos valores típicos para este tipo de producto. Los resultados de NP obtenidos en el presente estudio son superiores a los dados por Stadnik et al. (2013). Un bajo contenido de nitrógeno proteico puede ser atribuido a un corto periodo de maduración, por ello las

diferencias con los resultados obtenidos por estos autores podría deberse a las diferentes condiciones de procesado. Por otro lado, estos valores son inferiores a los observados por otros autores en lacón seco-curado (Garrido et al., 2012). Cabe mencionar que, los valores de NP de los lomos analizados son similares a los observados por Salazar-Serna et al. (2013) para el lomo curado de Chato Murciano.

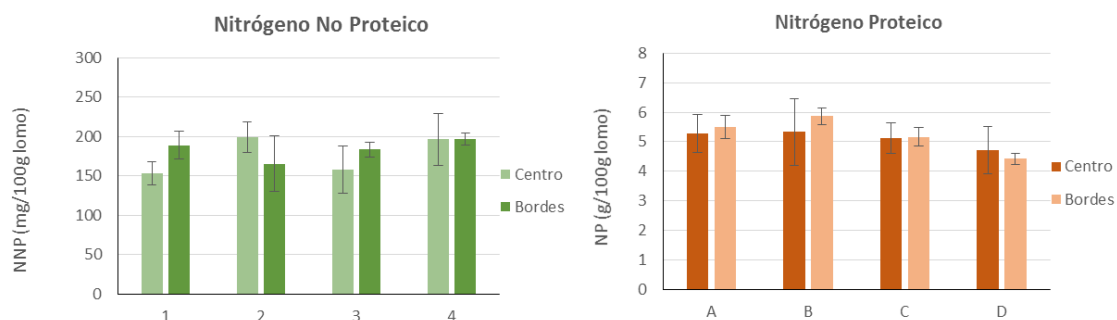


Figura 4.8. Valores de nitrógeno no proteico (mg/100g de lomo) y nitrógeno proteico (g/100g de lomo) de los lomos salados empleando el nuevo procedimiento (lomos A, B, C, D). Valores promedio \pm sd (n=3).

Los valores del índice de proteólisis de las muestras de lomo procesadas empleando el nuevo procedimiento de salado-curado se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4.3. Valores del índice de proteólisis de las muestras de lomo obtenidas por el nuevo proceso.

Lomo	Centro	Bordes
A	2,90 \pm 0,2	3,43 \pm 0,1
B	3,73 \pm 0,3	2,82 \pm 0,3
C	3,08 \pm 0,5	3,55 \pm 0,6
D	4,16 \pm 0,1	4,46 \pm 0,3

4.4. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DE LOS LOMOS OBTENIDOS POR EL NUEVO PROCEDIMIENTO DE SALADO-CURADO EMPLEANDO BOLSAS PERMEABLES AL VAPOR DE AGUA

Los valores de los recuentos de aerobios mesófilos, enterobacterias y bacterias ácido-lácticas obtenidos en los lomo una vez finalizado el proceso de curado se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Recuentos de aerobios mesófilos, bacterias ácido-lácticas y enterobacterias (log UFC/g) en las muestras de lomo curado.

Lomo	Mesófilos	Bacterias ácido-lácticas	Enterobacterias
A	3,90 ± 0,2	3,06 ± 0,2	nd
B	3,73 ± 0,3	3,16 ± 0,3	nd
C	4,08 ± 0,5	3,58 ± 0,5	nd
D	3,16 ± 0,1	3,05 ± 0,1	nd

Los valores obtenidos en estas determinaciones son del orden de los dados por otros autores para lomo curado (Aliño et al., 2009b, 2010b) y para otros productos curados similares (Clariana et al., 2011; Blesa et al., 2008; Huerta et al., 1988). Sin embargo, en otros estudios donde se ha estudiado la reducción de los tiempos de procesado se han observado recuentos superiores de aerobios mesófilos y bacterias ácido-lácticas, al ser comparados con las muestras control (Fulladosa et al., 2012). Asimismo, la incorporación de operaciones de manipulación ha demostrado ser la causa de mayores recuentos microbianos en el producto final. En este sentido, los estudios llevados a cabo sobre la elaboración de jamón reconstituido empleando enzimas o las operaciones de loncheado han demostrado dar lugar a productos con mayor carga microbiana (Fulladosa et al., 2012, 2009; Garriga et al., 2004).

En ninguna de las muestras analizadas se encontraron recuentos de enterobacterias superiores al límite de detección (2 log UFC/g), lo que indicaría las correctas operaciones de manipulación durante el proceso de elaboración. Este hecho podría ser atribuido también a que el nuevo procedimiento no afecta al crecimiento de ácido-lácticas, cuyo desarrollo se considera necesario para controlar proliferación de ciertos microorganismos alterantes como son las bacterias coliformes (Yamanaka et al., 2005). En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con los obtenidos en otros trabajos llevados a cabo en lomo y jamón curado (Aliño et al., 2009; Blesa et al., 2008).

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el uso de un proceso de salado controlado empleando bolsas permeables al vapor de agua no afecta a la calidad higiénica del producto.

4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL

Finalmente se llevó a cabo un análisis sensorial empleando un panel de cata entrenado donde se evaluó una muestra de lomo curado comercial y una muestra de lomo obtenido por el nuevo proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua. Los catadores en esta prueba evaluaron la muestra empleando una escala de intensidad para cada uno de los descriptores seleccionados. El objetivo de esta evaluación fue establecer si las características sensoriales del producto final eran similares a las de los productos comerciales. Como producto comercial se seleccionó el producto con humedad similar al producto desarrollado (humedad promedio 51%).

Los valores promedio de las puntuaciones que los catadores los descriptores seleccionados para ambas muestras de lomo se muestran en la figura 4.9.

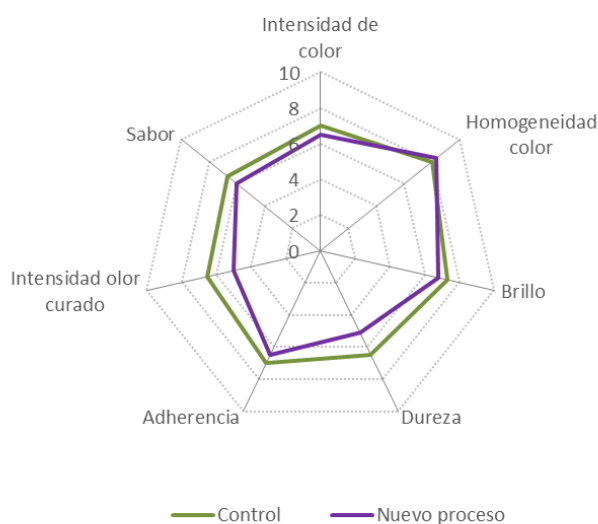


Figura 4.9. Puntuaciones asignadas por los catadores en la evaluación sensorial de las muestras de lomo curado (control, nuevo proceso).

No se observaron diferencias significativas en los atributos de homogeneidad de color y brillo ($p>0.05$). Sin embargo, si se observaron diferencias significativas entre las muestras respecto al resto de atributos. Según las puntuaciones dadas por los evaluadores, las muestras comerciales presentaron una mayor intensidad de color (intensidad de rojo), y presentaron una mayor dureza e intensidad de olor y sabor a curado. A pesar de estas diferencias, los evaluadores calificaron todos los atributos analizados en los lomos desarrollados en el presente trabajo por encima del valor medio de la escala. Estos resultados podrían indicar que, aunque las muestras comerciales presentaron características propias de los productos curado en un mayor grado de intensidad, los lomos desarrollados en el presente trabajo resultaron aceptables para todos los atributos evaluados.

Hay que señalar que la menor intensidad en algunos de los atributos que mejor definen el perfil sensorial de este tipo de productos podría estar relacionada con las bajas temperaturas empleadas a lo largo de todo el proceso. Esta reducción de la temperatura ha sido determinante para conseguir una calidad higiénica adecuada del producto, sin embargo, podría haber disminuido la actividad enzimática afectando al desarrollo de los aromas y sabores característicos del producto. La formación de sustancias sápidas y aromáticas derivadas de la oxidación lipídica y de la degradación de las proteínas se producen en las etapas de secadero y bodega, y son determinantes para que el producto curado alcance una calidad sensorial adecuada. En este sentido podría ser interesante seguir investigando sobre la contribución relativa de todas estas fases del proceso sobre la calidad sensorial del producto, así como considerar la posibilidad de incorporar una etapa final de estufaje o prolongar el tiempo de procesado con el objetivo de que el producto alcanzara un perfil sensorial óptimo.

Finalmente, hay que señalar también que la existencia de diferencias entre ambas muestras no puede ser únicamente atribuible a las diferentes condiciones de procesado. Tal y como han descrito diferentes estudios la calidad de la materia prima influye significativamente sobre la calidad de la mayoría de atributos de calidad, llegando a tener una repercusión incluso más importante en la calidad del producto curado que las modificaciones tecnológicas. El efecto de la materia prima sobre la calidad del producto final hace que para los productores la selección de la materia prima sea un factor decisivo en su proceso.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han optimizado las condiciones de procesado de un procedimiento de salado-curado controlado empleando bolsas permeables al vapor de agua para la obtención de lomo curado.

Las condiciones de procesado empleadas y la dosificación exacta de la sal han sido adecuadas para obtener un producto con valores de humedad, sal y a_w similares a los determinados en los productos comerciales. Estas condiciones han permitido obtener un producto con una calidad higiénica adecuada y un perfil sensorial similar al producto tradicional.

Las ventajas que supone este nuevo proceso de salado-curado empleando bolsas permeables al vapor de agua respecto a la menor manipulación del producto, la reducción de los residuos generados y al mejor control que supone el salado controlado posiciona esta nueva técnica como una alternativa a los procesos de salado y curado tradicionales para mejorar la calidad higiénica de los productos y reducir el impacto medioambiental de este sector alimentario.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Albarracín, W.; Sánchez, I.C.; Grau, R. & Barat, J.M., (2011). Salt in food processing; usage and reduction. *International Journal of Food Science and Technology*. 46: 1329-1336.
- Aliño, M.; Grau, R.; Fuentes, A. & Barat, J.M., (2010). Influence of low-sodium mixtures of salts on the post-salting stage of dry-cured ham process. *Journal of Food Engineering*. 99: 198-205.
- Aliño, M.; Grau, R.; Toldrá, F.; Blesa, E.; Pagán, M.J. & Barat, J.M., (2010). Physicochemical properties and microbiology of dry-cured loins obtained by partial sodium replacement with potassium, calcium and magnesium. *Meat Science*. 85: 580-588.
- Aliño, M.; Grau, R.; Toldrá, F.; Blesa, E.; Pagán, M.J. & Barat, J.M., (2009). Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Science*. 83: 423-430.
- ANSES/CIQUAL, (2016). Anses Table Ciqua 2016. *Composition nutritionnelle des aliments*. <https://pro.anses.fr/tableciqua/index.htm> [Fecha de acceso: 18/05/2017].
- AOAC. (1997). Official Methods of analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical chemists. Arlington, Virginia.
- Armenteros, M. (2010). *Reducción de sodio en lomo y jamón curados. Efecto sobre la proteólisis y las características sensoriales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (España).
- Arnau, J.; Serra, X.; Comaposada, J.; Gou, P. & Garriga, M., (2007). Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. *Meat Science*. 77: 81-89.
- Barat, J.M.; Grau, R.; Ibáñez, J.B.; Pagán, M.J.; Flores, M.; Toldrá, F. & Fito, P., (2006). Accelerated processing of dry-cured ham. Part I. Viability of the use of brine thawing/salting operation. *Meat Science*. 72: 757-765.
- Boari, R.; Chuard, N.; Fernández, V. & Pouiller, P., (2014). *Mercado de ganados y carnes. Proyecciones 2023* OCDE-FAO. <http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/bovinos/mercados/carne> [Fecha de acceso: 15/04/2017].
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2014). *Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico*.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2014). *Real Decreto 474/2014, de 13 de junio, por el que se aprueba la norma de calidad de derivados cárnicos*.

- Campus, M.; Flores, M.; Martínez, A. & Toldrá, F., (2008). Effect of high pressure treatment on color, microbial and chemical characteristics of dry cured loin. *Meat Science*. 80: 1174-1181.
- Carrapiso, A. I. & García, C., (2005). Instrumental colour of Iberian ham subcutaneous fat and lean (Biceps femoris): Influence of crossbreeding and rearing system. *Meat Science*. 71: 284-290.
- Carvajal, G. (2001). *Valor nutricional de la carne de: res, cerdo y pollo*. Corporación de fomento ganadero (CORFOGA), San José, Costa Rica.
- Clariana, M.; Guerrero, L.; Sárraga, C.; Díaz, I.; Valero, A. & García-Regueiro, J.A., (2011). Influence of high pressure application on the nutritional, sensory and microbiological characteristics of sliced skin vacuum packed dry-cured ham. Effects along the storage period. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 12: 456-465.
- Dapcich, V.; Salvador, G.; Ribas, L.; Pérez, C.; Aranceta, J. & Serra, L., (2015). *Guía de la alimentación saludable*. <http://www.nutricioncomunitaria.org/es/otras-publicaciones> [Fecha de acceso: 15/04/2017].
- DeGeer, S.L.; Hunt, M.C.; Bratcher, C.L.; Crozier-Dodson, B.A.; Johnson, D.E. & Stika, J.F., (2009). Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Science*. 83: 768-774.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2016). *FAO - División de Producción y Sanidad Animal*. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html> [Fecha de acceso: 18/05/2017].
- Fulladosa, E.; Serra, X.; Gou, P. & Arnau, J., (2009). Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Science*. 82: 213-8.
- Fulladosa, E.; Sala, X.; Gou, P.; Garriga, M. & Arnau, J., (2012). K-lactate and high pressure effects on the safety and quality of restructured hams. *Meat Science*. 91: 56-61.
- García-Gil, N.; Santos-Garcés, E.; Muñoz, I.; Fulladosa, E.; Arnau, J. & Gou, P., (2012). Salting, drying and sensory quality of dry-cured hams subjected to different pre-salting treatments: Skin trimming and pressing. *Meat Science*. 90: 386-392.
- Garrido, R.; Domínguez, R.; Lorenzo, J.M.; Franco, I. & Carballo, J., (2012). Effect of the length of salting time on the proteolytic changes in dry-cured lacón during ripening and on the sensory characteristics of the final product. *Food Control*. 25: 789-796.
- Garriga, M.; Grèbol, N.; Aymerich, M.T.; Monfort, J.M. & Hugas, M. (2004). Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products

- over its shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 5: 451-457.
- Gilles, G., (2009). Dry-cured ham quality as related to lipid quality of raw material and lipid changes during processing: a review. *Grasas y aceites*. 60: 297-307.
- Gou, P.; Comaposada, J.; Arnau, J. & Pakowski, Z., (2003). On-line measurement of water activity at the lean surface of meat products. *10 th Drying Symposium*, Lodz, Poland, 469-476.
- Hernández, P.; Navarro, J. L. & Toldrá, F., (1999). Lipolytic and oxidative changes in two Spanish pork loin products: dry-cured loin and pickled-cured loin. *Meat Science*. 51: 123-128.
- Huerta, T.; Hernández, J.; Guamis, B. & Hernández, E., (1988). Microbiological and physico-chemical aspects in dry-salted Spanish ham. *Zentralbl Mikrobiol*. 143: 475-482.
- Jiménez-Colmenero, F. & Carballo, J., (1989). *Principios básicos para la elaboración de embutidos*.
http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_04.pdf [Fecha de acceso: 10/06/ 2017].
- Joo, S.T.; Lee, J.I.; Ha, Y.L. & Park, G.B., (2002). Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition, lipid oxidation, color, and water-holding capacity of pork loin. *Journal of Animal Science*. 80: 108-112.
- Joo, S.T.; Kauffman, R.G.; Borggaard, C.; Stevenson-Barry, J.M.; Park, G.B. and Kim, B.C., (2000). Objectively predicting quality of post-rigor pork musculature: I. Initial comparison of techniques. *Asian-Australas. Journal of Animal Science*. 13: 68-76.
- Lázaro, V.M., (2013). *Utilización de bolsas permeables al vapor de agua para la obtención de salmón ahumado*. Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (España).
- Lindahl, G.; Lundström, K. & Tornberg, E., (2001). Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*. 59: 141-151.
- López-Brote, C.; Córdoba, J.J. & Antequera, T., (1993). Procesos degradativos de lípidos y proteínas durante la maduración del jamón. *Microbiología SEM*. 9: 20-25.
- Lorenzo, J.M.; Bermúdez, R.; Domínguez, R.; Guitto, A.; Franco, D. & Puriñosa, L., (2015). Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. *Food Control*. 50: 763-769.
- MAPAMA, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2016). *Informe del consumo de alimentación en España 2015*.

- Muriel, E.; Ruiz, J.; Martin, D.; Petró, M.J. & Antequera, T., (2004). Physico-chemical and sensory characteristics of dry-cured loin from different Iberian pig lines. *Food Science Technology International*. 10: 117-123.
- Muriel, E.; Ruiz, J.; Petró, M.J.; Andrés, A.I. & Antequera, T., (2003). Influencia de la alimentación sobre parámetros físico-químicos y sensoriales del lomo curado de cerdo Ibérico. *Eurocarne*. 121: 75-90.
- Picó, K., (2015). *Sistema de control "on-line" del proceso de salado de productos cárnicos*. Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (España).
- Potter, N., (1986). Food dehydration and concentration. *Food science*, 246–302. New York: The Avi Publishing Company, Inc.
- Randall, C., & Bratzler, L., (1970). Changes in various protein properties of pork muscle during smoking process. *Journal of Food Science*. 45: 248-249.
- Rodríguez-Marquina, M., (2003). *El envasado al vacío en el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Facultad de Industrias Alimentarias.
- Rosmini, M.R., (1996). *Proceso de elaboración de los productos cárnicos fermentados: caracterización objetiva mediante parámetros de color*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Ruiz, J. L., (2005). *Textura de músculos de cerdo y de jamón curado con distintos niveles NaCl, pH y contenido de agua*. Tesis Doctoral en ciencia de los alimentos. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona (España).
- Ruiz-Ramírez, J.; Serra, X.; Arnau, J. & Gou, P., (2005). Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin. *Meat Science*. 69: 519-525.
- Salazar Serna, E., (2013). *Tecnología y caracterización de productos cárnicos curados obtenidos a partir de cerdo Chato Murciano*. Tesis doctoral en ciencias de la salud, de la actividad física y del deporte. Universidad Católica San Antonio, Murcia (España).
- Sánchez Molinero, F., (2003). *Modificaciones tecnológicas para mejorar la seguridad y calidad del jamón curado*. Tesis Doctoral. Universitat de Girona, Girona (España).
- Shahidi, F.; Samaranayaka, A.G.P. & Pegg, R.B., (2014). Curing | Brine Curing of Meat, in: *Encyclopedia of Meat Sciences*. Editorial: Elsevier, 416-424.
- Soriano, P.M., (2017). *Monitorización del salado y post-salado de lomo mediante ultrasonidos*. Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (España).
- Soto, E.; Hoz, L.; Ordóñez, J. A.; Hierro, E.; Herranz, B.; López-Bote, C. & Cambero, M. I., (2008). Impact of feeding and rearing systems of Iberian pigs on volatile profile and sensory characteristics of dry-cured loin. *Meat science*. 79: 666-676.

- Toldrá, F., (2016). Dry-Cured Meats, in: *Reference Module in Food Science*. Editorial: Elsevier.
- Toldrá, F., (1992). The enzymology of dry-curing of meat products. *New Technologies for meat and meat products*. Ed: Smulders, F.J.M., Toldrá, F., Flores, J., Prieto, M. ECCEAMST Audet, Nijmegen, 209-231.
- Valero, T.; del Pozo de la Calle, S.; Ruíz, E. & Ávila, J.M. (2017). *Guía nutricional de la carne-Fundación Española de la Nutrición*. <http://www.fen.org.es/fedecarne-fen/pdf/guiaNutricion.pdf> [Fecha de acceso: 17/03/ 2017].
- Ventanas, J., (2006). *El jamón ibérico. De la dehesa al paladar*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Wu, H.; Zhang, Y.; Long, M.; Tang, J.; Yu, X.; Wang, J. & Zhang, J., (2014). Proteolysis and sensory properties of dry-cured bacon as affected by the partial substitution of sodium chloride with potassium chloride. *Meat Science*. 96: 1325-1331.
- Yamanaka, H.; Akimoto, M.; Sameshima, T.; Arihara, K. & Itoh, M., (2005). Effects of bacterial strains on the development of the ripening flavor of cured pork loins. *Journal of Animal Science*. 76: 499-506.